

終 了 報 告 書

S I P (戦略的イノベーション創造プログラム)

課題名「エネルギーキャリア」

研究開発テーマ名「アンモニア直接燃焼」

研究題目「アンモニア燃料の火力発電設備への適用に関する検討」

研究開発期間：平成 27 年 12 月 28 日～平成 31 年 3 月 31 日

研究担当者： 二本柳 保

所属研究機関：東北電力株式会社

目次

1. 本研究の目的	1
2. 研究開発目標とマイルストーン	7
3. 研究開発実施内容	8
3-1. 火力発電設備等におけるアンモニアの燃料利用に関わる法令調査	
3-2. アンモニア発電利用技術の内燃火力発電機器への適用検討	
3-3. まとめ	
3-4. 今後の課題	
4. 外部発表実績	60
5. 特許出願実績	60
6. 参考文献	60

図表一覧

図 1-1. エネルギーキャリアであるアンモニアを直接利用とする社会
図 1-2. アンモニア直接燃焼チームが研究開発に取り組む燃焼分野
図 3-1-1. 火力発電設備のフロー図
図 3-2-1. ガスタービンコンバインドサイクル発電システムの概要
図 3-2-2. GTCC のアンモニア混焼システムの一例
図 3-2-3. ガスタービン周りの熱効率解析モデル
図 3-2-4. 蒸気タービン周りの熱効率解析モデル
図 3-2-5. GTCC 全体の熱バランス解析モデル
図 3-2-6. アンモニア燃料混焼を考慮した GTCC 熱バランス解析モデル
図 3-2-7. メタン 100%時の GTCC 熱バランス
図 3-2-8. アンモニア 100%時の GTCC 熱バランス
図 3-2-9. アンモニア混焼による GT、ST、発電端出力（蒸気抽気あり）
図 3-2-10. アンモニア混焼による発電端効率（蒸気抽気あり）
図 3-2-11. アンモニア混焼による排ガス量および CO ₂ 排出量（蒸気抽気あり）
図 3-2-12. アンモニア混焼率 0%（メタン専翔）時の GTCC 熱バランス（図 3-2-7 再掲）
図 3-2-13. アンモニア混焼率 20%時の GTCC 熱バランス
図 3-2-14. アンモニア混焼率 40%時の GTCC 熱バランス
図 3-2-15. アンモニア混焼率 60%時の GTCC 熱バランス

- 図 3-2-16. アンモニア混焼率 67.5%時の GTCC 熱バランス
- 図 3-2-17. アンモニア混焼による GT、ST、発電端出力（蒸気抽気なし）
- 図 3-2-18. アンモニア混焼による発電端効率（蒸気抽気なし）
- 図 3-2-19. アンモニア混焼による排ガス量および CO₂ 排出量（蒸気抽気なし）

表 1-1. エネルギー変換のためのアンモニア直接燃焼技術

- 表 3-1-1. 調査対象項目
- 表 3-1-2. 調査対象関係法令等
- 表 3-1-3. 火力発電設備の運用条件
- 表 3-1-4. 工業炉の運用条件
- 表 3-1-5. 適用法令リスト
- 表 3-1-6. 運搬に関するアンモニア燃料実用化の留意点
- 表 3-1-7. 運搬に関する発電事業（火力発電設備）と発電事業以外（工業炉）との相違点
- 表 3-1-8. 首都圏と東北地方のアンモニア濃度規制の比較
- 表 3-2-1. アンモニアの混焼率と各燃料の流量および熱量
- 表 3-2-2. アンモニアの状態量
- 表 3-2-3. アンモニア混焼時の各燃料投入量、必要蒸気量およびアンモニア昇圧動力
- 表 3-2-4. アンモニア混焼率による影響（蒸気抽気あり）
- 表 3-2-5. アンモニア混焼率による影響（蒸気抽気なし）

1. 本研究の目的

(1) 研究開発期間終了以降から事業化までのシナリオ

CO₂ 排出量を大幅に削減する低炭素社会実現には、再生可能エネルギーの大規模利用や水素社会の普及が必要とされる。しかし、水素は貯蔵や輸送に関して、技術的ハードルを多く抱えており、純水素を使用したシステムの構築は困難をとまなう。また、太陽光や風力などの再生可能エネルギーは生産地が一般には都市部など消費地の遠隔にあり、さらに時間や季節、天候によって得られるエネルギー量が大きく変動する。クリーンで、かつ量的なポテンシャルも備えている再生可能エネルギーを大規模に利用するためには、エネルギーを水素として含む化学物質（エネルギーキャリア）に変換し、これを消費地まで運搬して貯蔵し、必要な時に最適の形でエネルギーに戻すシステムの構築が必要となる。アンモニアは、肥料原料や汎用化学品原料として大量に使用され、その製造は Haber-Bosch 法として確立されている。沸点が -33°C 、常温では 8 気圧で液化するので水素と比較して液化がはるかに容易である。その体積当たりの水素貯蔵量も約 18 wt%と水素吸蔵合金 (<5 wt%) や高圧水素に比して高密度で、さらに液体水素、有機ハイドライドに比しても水素貯蔵量は大きい。また製造・輸送・貯蔵まで一貫した技術が十分に整備されており、次世代の低炭素社会を担うエネルギーキャリアとしての可能性を十分に秘めており、アンモニアをエネルギーキャリアならびにケミカルストレージして直接利用する社会が構築される（図 1-1）。現在、炭化水素や水素燃料のエネルギー変換で確立されている技術を、エネルギーキャリアであるアンモニア燃料を利用可能な形に改変あるいは転用することにより、アンモニアの燃料としての有効性を早急に明らかにすることが重要である。5 年間の本提案の中でその有効性を際立たせることによって、アンモニアのエネルギーキャリアとしてのポテンシャルと将来像が広く認知され、その結果、アンモニア利用技術より高いハードルがあると考えられている再生可能エネルギーからのアンモニア製造技術開発も推進され、加速される。

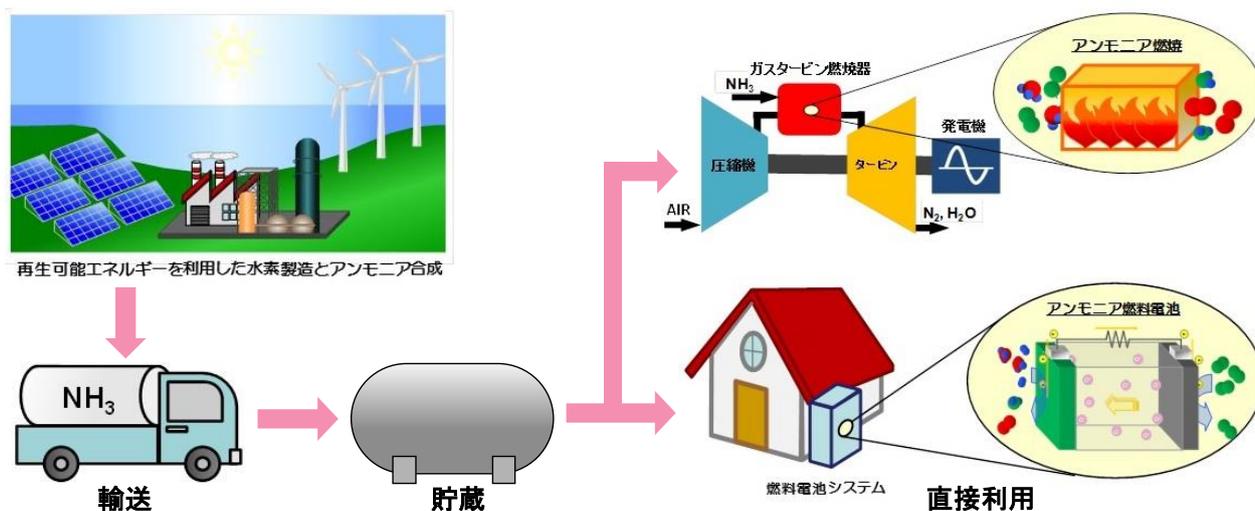


図 1-1. エネルギーキャリアであるアンモニアを直接利用するとする社会

炭化水素を燃料とする燃焼は人類社会を支えている。アンモニア固体酸化物形燃料電池 (SOFC) によるエネルギー変換技術の多くも実証段階にある。アンモニアから一旦水素を取り出し燃料電池等で利用するにはアンモニアを分解する必要があるが、分解反応は吸熱反応であるため、燃焼または燃料電池で直接エネルギー変換する方法がエネルギー効率の観点から優れている。燃焼は火力発電所に代表されるギガワット級のエネルギー変換が可能で、かつ負荷変動に柔軟に対応でき発電分野ではベースロード電源にもピークロード電源にもなり得る。また、ディーゼルエンジンの熱効率は 40%、近年のコンバインドサイクルガスタービン発電では熱効率は 60%に達しようとしている。一方、燃焼電池の電気エネルギー変換効率も 50-60%と高く、規模と用途によって相補的關係にあるといえる。

アンモニア直接燃焼によって創出される技術は、CO₂ 無排出燃焼技術である。現在、全世界のエネルギーの 80%が燃焼により得られている。先進国、発展途上国を問わず、燃料輸送、貯蔵、自動車からエネルギープラント、工業炉まで、燃焼を用いたエネルギーインフラが社会を支えている。アンモニアは、従来の化石燃料に対する代替燃料の一つと考えることができる。アンモニアの重量比発熱量は、代表的炭化水素であるメタンの概ね 4 割程度であるが、沸点など熱物性がプロパンに近く既存エネルギーインフラが活用できる。種々新技術の整備に要する CO₂ 排出まで考慮すると、現在の主要燃料の一部をアンモニアに置き換えるだけでも、CO₂ 排出削減効果は格段に大きい。東日本大震災および原発事故以降、我が国のエネルギー体系は大きな変化を余儀なくされ、電力供給は 90%近くが火力発電となっている。休眠中であつた火力発電所の再稼働と併せ、電力需要のピークに対応すべく中規模ガスタービン電源が多数設置されている。これらの状況は決して一過性ではなく、スマートグリッドに代表される新しいエネルギーネットワーク構築が加速すると考えられる。アンモニア燃焼は NO_x を生成し易いのではないかと懸念がしばしば聞かれるが、アンモニア燃焼の最終生成物質は原理的に窒素と水である。1970 年代に NO_x 生成反応機構が明らかにされ、超低 NO_x 燃焼が実現しているように、現代の燃焼科学はアンモニア燃焼の NO_x 生成を通常の炭化水素燃料と同等レベルまで抑制する技術を創出することが可能である。アンモニア直接燃焼は、既存のエネルギーインフラが活用出来る究極の CO₂ 無排出エネルギーであり、動力、熱、電力のいずれの形態のエネルギーも生産し、かつ燃料電池とも相互補完するなど、先進的なエネルギーネットワークの一翼を担うであろう。

アンモニア利用社会の実現と普及は、燃焼と燃料電池をそれぞれの分野において最適な利用形態で、しかも様々な再生可能エネルギーと共存かつ相互に補完し進める必要がある。この場合に重要な問題はアンモニアの安全性である。アンモニアの安全性とそれに関連した問題は、SIP の別プロジェクトで取り扱われることになっているが、本チームでも無視して研究を進めてよい問題ではない。本チームではそこでの検討結果に留意しつつ、安全安心な分野からアンモニア利用を普及させていくステップについても議論していく。そのためにはエネルギー変換機器あるいはアンモニア貯蔵・供給設備から排出される残留アンモニアレベルについても測定、予測しながら社会への導入を進める必要

がある。おそらくアンモニアを集中的に管理した状態から使用を開始し、安全性について問題が明確になり解決された段階で次第に末端のエネルギー変換機器へと導入が進むと考えられる。本プロジェクトでも安全性と導入のプロセスと常に考慮しつつ、それぞれの研究を推進する。

アンモニア利用技術の中で、直接燃焼については技術開発のベースとなるガスタービン、レシプロエンジン、工業炉および工業用バーナが存在し、かつ火力発電所や工業事業所には一定規模のアンモニア輸送、貯蔵インフラがすでにあるので、それぞれの技術開発の成果を実用燃焼システムに速やかに応用できる位置にある。このようにアンモニア燃焼技術はアンモニアエネルギーキャリアおよびCO₂排出削減エネルギーシステムの実現に向けた牽引者となるべき存在で、この試験結果をいち早く社会に発信していく。新技術の速やかな社会還元と即効的なCO₂排出削減という観点から、アンモニア専焼に拘ることはなく、天然ガスとの混焼や、現在の火力発電の主力であり工業炉燃焼のひとつである微粉炭燃焼をアンモニア燃焼に置き換えていくことによって、大幅なCO₂排出削減に繋がる可能性があり、これらの技術開発にも取り組んでいく。

本チームで取り扱うアンモニア直接燃焼技術の特徴及び用途などを表 1-1 に示す。

表 1-1. エネルギー変換のためのアンモニア直接燃焼技術

	特徴	効率・利点	アンモニア利用への適合性	開発要素	用途・その他
NH ₃ 燃焼ガスタービン	エネルギープラントの中核的システムであり、発電を担う連続燃焼熱機関。	排熱利用コージェネレーションによって炭化水素燃料同等の高効率 60%以上が期待できる。	従来型燃焼器の要素的改良と運転制御によりCO ₂ 無排出ガスタービンが実現できる。	多段燃焼等による排出ガス低NO _x 化、システム大型化に向けたスケール効果、圧力効果解明。	中小規模火力発電所ガスタービンシステムの代替および分散型エネルギーの有効候補。
NH ₃ 燃焼レシプロエンジン	自動車用エンジンならびに小規模発電を担う間欠燃焼熱機関。	乱流制御やアンモニア分解水素の添加により燃焼効率 98%以上が期待できる。	プロパンと同等の燃料供給系設計が可能で、可搬性を含め自動車用燃料に適する。	低火炎伝播速度を補う高強度乱流燃焼や分解水素添加による火炎強化。	CO ₂ 無排出次世代自動車用エンジンやプロパン併用の災害対応発電機。
NH ₃ 燃焼工業炉	製造業の加熱処理に不可欠であり全エネルギー利用の約 25%を占める。	CO ₂ 削減効果が大きく、熱再生技術等で非加熱効率が従来炉と同等の 55%以上に高められる。	気体燃料工業用バーナへの供給が容易であり、サーマルNO _x の還元効果も期待できる。	輻射性ガスであるCO ₂ が生成されないことによる輻射伝熱量低下を補う火炎伝熱強化。	窒素分を含む微粉炭燃焼の低NO _x 化にも寄与し、セメントキルンや微粉炭発電への適用も期待できる。

アンモニア直接燃焼は、あらゆる燃焼機器に応用できる可能性がある。熱物性値がプロパンに近いことは燃料として大きな利点である。しかし、当面のアンモニア供給量を考慮すれば、始めに中小規模分散型エネルギープラント、一定割合の自動車用エンジン、CO₂排出削減が義務づけられる工業炉に対して利用分野が開拓されるべきであろう。それらの実績が積まれた段階でより広範な燃焼器に適用が拡大していくが、それにはアンモニアの分散管理、アンモニア供給システムの更なる発達が必要であり、安全性・信頼

性の向上やより厳しい管理方法など別の要素の技術発展も必要となる。更なる利用分野への展開として、航空用エンジン、大規模発電などが期待されるが、アンモニア生産量、供給量の格段の増大を必要とする。

エネルギープラントでは燃料を集中的に貯蔵管理できるため、燃料輸送および管理コストが低減できる。火力発電所の敷地内には脱硝用アンモニアが貯蔵されており、火力発電所におけるガスタービン発電システムへの適用は、燃料管理と集中供給、さらには混焼用天然ガス供給の観点から最も実現性がある。さらに、火力発電所には専門技術者が常駐しており、機器メンテナンスの面からも、燃料管理の面からもアンモニア発電システムが最初に実用化される可能性が高い。各種工業炉は社会のエネルギー消費のおよそ25%を占めているため、発電システムと同様にアンモニア燃焼によるCO₂排出削減のインパクトは大きく、アンモニア燃焼を早急に導入すべき分野の一つである。工業炉も敷地内に隔離してアンモニア貯蔵、供給管理が可能であるので、システム導入のハードルは高くない。特に、微粉炭と混焼する炉では、アンモニアは燃料であると同時にNO_x還元剤として作用するので、NO_x排出抑制物質にもなり、アンモニア発電システムに続いて実用化、普及する可能性が高い。自動車用エンジンも燃料貯蔵、燃料輸送において大きなメリットがあり、実現、普及する可能性が高い。レシプロエンジンへの利用は、アンモニアの燃焼速度を考慮すると、負荷変動の大きいパッセンジャーカーよりもトラックなどの大型エンジンによる輸送システムへの普及が早いと予想される。安全基準が異なり、新たな法整備が必要であるが、給油スタンドにアンモニア供給システムを設置することは水素システムに比較して容易であると考えられ、プロパンと同様のアンモニアステーションの運用も期待できる。

(2) 研究開発期間以内に取り組む課題

実用化、事業化を目指す3つのアンモニア直接燃焼分野

低炭素社会実現に貢献するアンモニア直接燃焼は、発電部門、熱利用工業炉部門、輸送部門、住居環境でのエネルギー利用部門全般に渡るが、アンモニア供給システムの安全管理を考慮すれば、発電、工業炉、輸送機関のエンジンが用途の主軸になるであろう。特に発電は、コンバインドサイクルガスタービンやコージェネレーションにLNGや都市ガスが大規模に利用されていることや、原子力発電が担ってきたCO₂排出削減を継続しながら電力の安定供給を目指す観点からも技術開発の優先度が高い。続いて、CO₂排出量の大きい工業炉や輸送機関のエンジンに展開されるべきである。そこで、アンモニア直接燃焼チームが取り組む実用化、事業化を目指す燃焼分野は、ガスタービン発電、レシプロエンジン、微粉炭混焼を含む工業炉の3つの分野とし、研究開発に取り組む(図1-2)。

従来の炭化水素燃焼、微粉炭燃焼に関して既存技術の十分な蓄積がある。アンモニア燃焼の適用は新たなチャレンジであるが、技術開発は基礎燃焼特性の解明と蓄積された開発手法を組み合わせることによって可能である。住居環境でエネルギー利用部門は本研究に含まれないが、上記3つの分野においてアンモニア直接燃焼が実用化され、安全

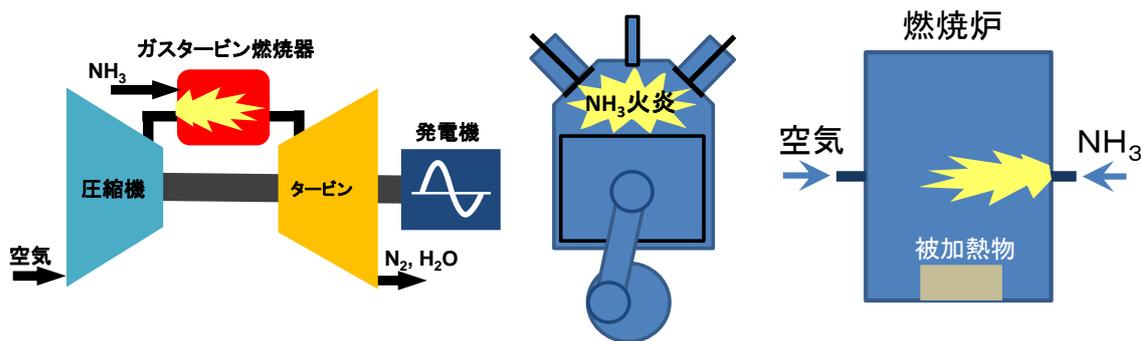


図 1-2. アンモニア直接燃焼チームが研究開発に取り組む燃焼分野
(ガスタービン発電、レシプロエンジン、微粉炭燃焼ボイラを含む工業炉)

性を含むアンモニア利用技術が成熟する過程で、住居環境への利用も可能になると考えられる。

一方、アンモニア燃焼の本来的特性に起因する共通課題として、研究に取り組むべき次の3つの技術課題がある。

アンモニア直接燃焼の実用化に向けた3つの技術課題

1) 排出ガス低NO_x化

アンモニア燃焼の総括反応式は $4\text{NH}_3 + 3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{N}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$ 、代表的炭化水素燃料であるプロパンの総括反応式は $\text{C}_3\text{H}_8 + 5\text{O}_2 \rightarrow 3\text{CO}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$ である。アンモニア燃焼がCO₂フリーであることを説明する上で、これらの総括反応式を用いることは正しい。どのような燃料に対しても、空気を酸化剤に用いる限り燃焼ガス中にNO_xが存在する。NO_xは主にNO、NO₂、N₂Oの合計量で測られる。実際、化学平衡組成である燃焼ガス中のNO_x濃度はプロパンやメタンなど炭化水素燃料の場合と比較してもほとんど等しいが、支配的なNO生成過程が異なっている。燃焼学的には炭化水素燃料は空気中の窒素を起源とし、生成速度が遅いサーマルNOが支配的である。炭化水素火炎が主発熱帯付近でのNO濃度が低く下流側で増大するのに対し、アンモニア火炎は燃料起源のフェーエルNOであるため、主発熱帯付近でNO濃度が高く下流側で減少する。NOは火炎下流でNO₂に変化する。実用燃焼器の大きさは有限であるため滞在時間も有限であり、アンモニア燃焼のNO_x排出量は炭化水素燃焼のNO_x排出量に比較して大きいということが一般的に言える。これを低減し、環境基準内に収める技術の開発が第一の技術課題である。

2) 燃焼強化

アンモニアは炭化水素燃料に対して燃焼速度が小さい(アンモニア: 8 cm/s、プロパン: 40 cm/s)、着火温度が高い(アンモニア: 651°C、プロパン: 432°C)、可燃濃度範囲が狭い(アンモニア: 当量比 0.69~1.3、プロパン: 当量比 0.51~2.51)など、総合的に燃焼性が低い。断熱火炎温度も低い(アンモニア: 1800°C、プロパン: 2000°C)これはサー

マル NO 低減に効果がある。従来の燃焼機器にそのまま使用すると、火炎の安定性低下や未燃アンモニアの排出、レシプロエンジンでは失火やサイクル変動、燃焼効率低下が生じる。これらを改善する技術の開発が第二の技術課題である。

3) 火炎伝熱強化

従来の炭化水素燃料の生成物質は水蒸気と CO_2 であり、いずれも強い輻射性がある。炭素原子はすす前駆体から炭素微粒子を生成し、高温の火炎中で強い輝炎による輻射を發する輻射伝熱の主体である。カーボン粒子は炉出口までに燃焼し、すすとして排出されない設計がなされているのが一般的な工業炉やボイラーであり、炉内では積極的に輝炎を利用している。しかし、アンモニア燃焼は炭素原子が含まれないため生成物質は水蒸気ならびに輻射性が非常に弱い N_2 である。水蒸気は輻射性だが、同様に強い輻射性ガスである CO_2 や固体微粒子が生成されない。輻射強度は温度の 4 乗に比例するため、炭化水素と比較して火炎温度が低いアンモニア火炎を工業炉に適用するには、輻射伝熱を強化する方策が必要である。また、発熱量がメタンなど炭化水素燃料より小さいため、同流量の燃料供給では対流熱伝達量も小さいアンモニア燃焼流の対流伝熱強化も重要であり輻射、強制対流の両面から伝熱強化を行うことが第三の技術課題である。

2. 研究開発目標とマイルストーン

水素エネルギーキャリアであるアンモニアの燃料利用としては、火力発電設備への適用が有望と考えられている。火力発電設備におけるアンモニア利用については、これまでは排煙脱硝装置の NOx 還元剤等としての実績はあるが燃料としての実績はなく、その使用量は少量である。しかし、燃料として利用する際は多量の取り扱いが必要であることから、多量アンモニアの取り扱いに伴う法令、技術基準などにおける課題等が考えられる。

また、火力発電設備は、化石燃料を用いることを前提にシステム・熱サイクル等が設計されている。アンモニア燃料は、炭素を含まないため CO₂ 削減効果はあるが、低カロリーで窒素を含むために排ガス量が多くなることから、熱サイクルへの影響が大きいと考えられる。

このため、アンモニア直接燃焼研究において得られた技術の既存発電システムへの適用と熱サイクル上の課題について検討する。

本研究における研究開発終了時における研究開発目標ならびにマイルストーンは、次のとおりである。

(1) 研究開発目標

a. 火力発電所におけるアンモニア利用に関する法律上の問題点の把握

火力発電所におけるアンモニア利用については少量の実績はあるが、燃料として利用する際は多量の取り扱いが必要である。このため、火力発電所において多量アンモニアの取り扱う際の法律上の問題点等を把握する。

b. アンモニア発電利用技術の内燃火力発電機器への適用検討

火力発電設備のシステム・熱サイクル等の設計は化石燃料利用を前提としているが、アンモニア燃料は低カロリーで窒素を含むために排ガス量が多くなることから、これを利用する際は熱サイクルへの影響が大きいと考えられる。このため、熱サイクルシミュレーション等による解析を行い、アンモニア燃料の適用可能性を検討する。

(2) マイルストーン

- ・火力発電所におけるアンモニア利用に関する法律上の問題点の把握
- ・アンモニア発電利用技術の内燃火力発電機器への適用検討

3. 研究実施内容

3-1. 火力発電設備等におけるアンモニアの燃料利用に関わる法令調査

3-1-1. 調査概要

火力発電設備においてアンモニアを燃料として利用する際の法令上の課題、留意点、問題点などを調査・把握すると共に、既存燃料である LNG、C 重油との相違点などの比較を行った。また、火力発電設備以外のケースとして工業炉への燃料利用の場合についても調査し、発電事業と発電事業以外の比較も行った。

取扱いに関する調査対象項目は表 3-1-1 に、調査対象とした関係法令等については表 3-1-2 に示すとおりであるが、この他の関連する法令についても、適宜調査を実施した。また、調査にあたり想定した火力発電設備の燃料フロー図を図 3-1-1 に、火力発電設備の運用条件を表 3-1-3 に、工業炉の運用条件を、表 3-1-4 に示す。

表 3-1-1. 調査対象項目

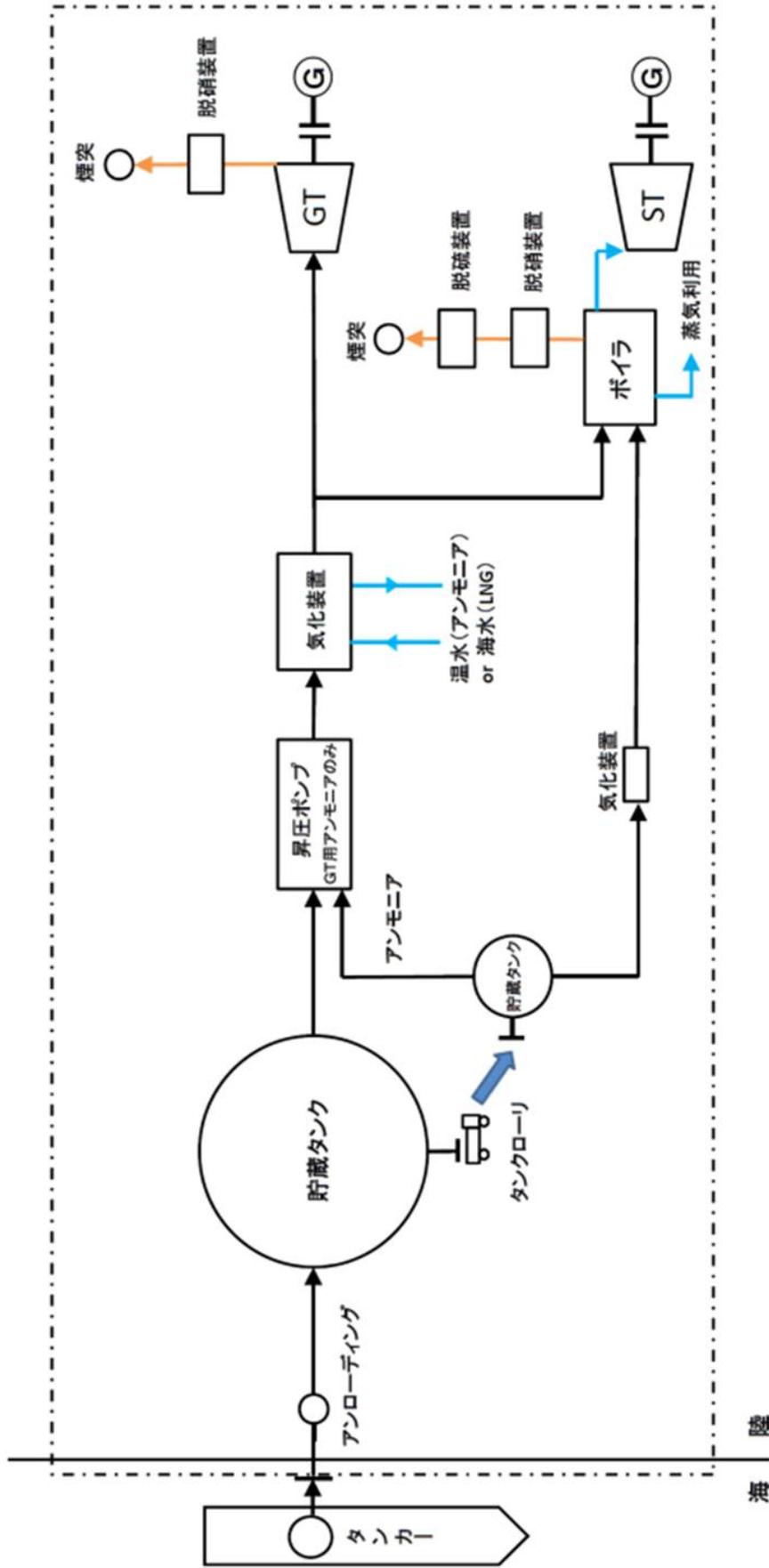
項目		備考
1. 運搬 (海上、陸上)	タンカー構造	運搬方法は、海上においてはタンカー、陸上においてはローリーとする。運搬物は、液体アンモニアとする。
	港湾設備	
	運搬車両の停留場所	
	運搬車両の構造	
	運搬車両の積載数量	
	保安距離	
	管理	
2. 貯蔵	貯蔵に係る許可、届出	貯蔵物は液体アンモニアとする。
	貯蔵施設基準	
	貯蔵タンクの構造	
	保安距離	
	貯蔵管理	
3. 気化・昇圧	気化に係る技術基準	
	昇圧に係る技術基準	
	保安距離	
	管理	
4. 消費	消費に係る届出	
	消費に係る技術基準	
	管理	
5. 環境影響	廃棄に係る技術基準	
	排ガス	
	騒音	
	振動	
	排水	
	廃棄物	
	悪臭	
	温室効果ガス	
	環境アセスメントの有無	

表 3-1-2(1). 調査対象関係法令等

No.	法令名	
	法律	政令、省令、告示、指針等
1	電気事業法	<ul style="list-style-type: none"> ・電気事業法施行令 ・電気事業法施行規則 ・発電用火力設備に関する技術基準を定める省令 ・電気事業法施行規則に基づく溶接事業者検査（火力設備）の解釈 ・発電用火力設備の技術基準の解釈 ・発電用火力設備に関する技術基準の細目を定める告示 ・LNG 地上式貯槽指針（日本ガス協会） ・LNG 地下式貯槽指針（日本ガス協会）
2	高圧ガス保安法	<ul style="list-style-type: none"> ・高圧ガス保安法施行令 ・一般高圧ガス保安規則 ・コンビナート等保安規則 ・特定設備検査規則 ・一般高圧ガス保安規則関係例示基準 ・特定設備の技術基準の解釈 ・高圧ガス保安法及び関係政省令の運用及び解釈について（内規） ・製造施設の位置、構造及び設備並びに製造の方法等に関する技術基準の細目を定める告示 ・液化石油ガス保安規則 ・液化石油ガス保安規則関係例示基準
3	消防法	<ul style="list-style-type: none"> ・危険物の規制に関する政令 ・危険物の規制に関する規則
4	労働安全衛生法	<ul style="list-style-type: none"> ・労働安全衛生法施行令 ・特定化学物質障害予防規則
5	毒物及び劇物取締法	<ul style="list-style-type: none"> ・毒物及び劇物取締法施行令
6	港則法	<ul style="list-style-type: none"> ・港則法施行令 ・港則法施行規則 ・危険物船舶運送及び貯蔵規則 ・船舶による危険物の運送基準等を定める告示
7	港湾法	<ul style="list-style-type: none"> ・港湾法施行令 ・港湾の施設の技術上の基準を定める省令
8	船舶安全法	<ul style="list-style-type: none"> ・危険物船舶運送及び貯蔵規則 ・船舶による危険物の運送基準等を定める告示

表 3-1-2(2). 調査対象関係法令等

No.	法令名	
	法律	政令、省令、告示、指針等
9	石油コンビナート等災害防止法	<ul style="list-style-type: none"> ・石油コンビナート等災害防止法施行令 ・石油コンビナート等特別防災区域を指定する政令 ・石油コンビナート等における特定防災施設等及び防災組織等に関する省令
10	道路法	<ul style="list-style-type: none"> ・道路法施行令 ・（独）日本高速道路保有・債務返済機構公示第12号
11	悪臭防止法	<ul style="list-style-type: none"> ・悪臭防止法施行令 ・悪臭防止法規則
12	大気汚染防止法	<ul style="list-style-type: none"> ・大気汚染防止法施行令 ・大気汚染防止法施行規則
13	水質汚濁防止法	<ul style="list-style-type: none"> ・水質汚濁防止法施行令 ・排水基準を定める省令 ・水質汚濁防止法施行規則
14	環境影響評価法	
15	廃棄物の処理及び清掃に関する法律	
16	騒音規制法	
17	振動規制法	
18	海上交通安全法	
19	海洋汚染等及び海上災害に関する法律	<ul style="list-style-type: none"> ・海洋汚染等及び海上災害の防止に関する法律施行令 ・海洋汚染防止法施行規則 ・海洋汚染等及び海上災害の防止に関する法律の規定に基づく船舶の設備等に関する技術上の基準等に関する省令
20	道路運送車両法	<ul style="list-style-type: none"> ・道路運送車両の保安基準 ・道路運送車両の保安基準の細目を定める告示
21	ガス事業法	<ul style="list-style-type: none"> ・ガス事業法施行令 ・ガス事業法施行規則 ・ガス工作物の技術上の基準を定める省令 ・ガス用品の技術上の基準等に関する省令 ・ガス工作物技術基準の解釈例
22	建築基準法	<ul style="list-style-type: none"> ・建築基準法施行令
23	航空法	
24	下水道法	
25	地球温暖化対策の推進に関する法律	<ul style="list-style-type: none"> ・地球温暖化対策の推進に関する法律施行令
26	船員法	
27	労働基準法	



(アンモニア輸送ポンプは省略)

* GT : Gas Turbine、G : Generator、ST : Steam Turbine、LNG : Liquefied Natural Gas

図 3-1-1 火力発電設備のフロー図

表 3-1-3. 火力発電設備の運用条件

発電方式	LNG GT コンバインド	LNG GT コンバインド (アンモニア：20%混焼 (発熱量基準))		ボイラー + ST
		LNG	アンモニア	
燃料 ^{注1}	LNG	LNG	アンモニア	C 重油
発電容量 [MW]	600	600		600
燃料消費量 [t/日] () 内の単位は [Nm ³ /日]	2,000 (2,800,000)	1,600 (2,240,000)	1,000 (1,300,000)	3,000 (-)
燃料受入頻度	-	-	1回/2週	-
貯蔵タンク容量 [kL] () 内の単位は [t]	100,000 (46,000)	100,000 (46,000)	15,000 (9,600)	30,000 (27,000)
基数	2	2	2	3
廃棄物	なし	なし		重油灰、重油残渣 (重金属含有)

注1：燃料の発熱量（LHV：低位発熱量）は、次のとおりである。

LNG 49.0 MJ/kg（沸点）、アンモニア 18.8 MJ/kg（-30℃）、C 重油 39.4 MJ/kL

表 3-1-4. 工業炉の運用条件

	工業炉 (アンモニア：30%混焼 (発熱量基準))	
	石炭	アンモニア
燃料 ^{注1}	石炭	アンモニア
発電容量 [MW]	-	
燃料消費量 [t/日] () 内の単位は [Nm ³ /日]	500 (-)	200 (160,000)
燃料受入頻度	-	-
貯蔵タンク容量 [kL] () 内の単位は [t]	- (-)	10,000 (6,400)
基数	-	2
廃棄物	-	なし

注1：燃料の発熱量（LHV）は次のとおりである。

石炭 26.6 MJ/kg、アンモニア 18.8 MJ/kg（-30℃）

3-1-2. 調査結果

発電事業におけるアンモニアの燃料利用については、貯蔵、気化・昇圧、消費に関しては概ね電気事業法に、運搬、環境影響ほかについては高圧ガス保安法、労働安全衛生法、毒物及び劇物取扱法、港則法、港湾法、環境アセスメント法、悪臭防止法、大気汚染防止法、水質汚濁防止法、騒音規制法、振動規制法、下水道法、地球温暖化対策の推進に関する法律に規定されている。これらの法令におけるアンモニアに関する記載の有無について、表3-1-5に示す。

各燃料については、アンモニアは電気事業法等、LNGは電気事業法およびLNG貯槽指針等、C重油は消防法等に主に規定されている。そのほか、3燃料とも労働安全衛生法に規定されているが、アンモニアのみが特定化学物質第3類物質に該当するため、LNG、C重油より規定内容が多くなっている。さらに、アンモニアは毒物及び劇物取扱法に規定されており、環境影響について関連項目がある。

表3-1-5(1). 法令記載の有無

No. 法令名					燃料名 発電事業(火力発電設備) アンモニア												発電事業以外(工業炉) アンモニア							
法律	政令	省令	告示等	指針等	LNG				C重油				アンモニア											
					運搬	貯蔵	気化・昇圧	環境影響	運搬	貯蔵	気化・昇圧	環境影響	運搬	貯蔵	気化・昇圧	環境影響								
1	電気事業法	電気事業法施行令			・高圧ガス保安法の適用除外 電気工作物	×	○	○	×	・高圧ガス保安法の適用除外 電気工作物	×	○	○	×	・発電ボイラーは電気工作物	×	×	×	×	該当しない	×	×	×	×
		電気事業法施行規則				×	○	○	×		×	○	○	×		×	×	×	×		×	×	×	×
			電気事業法施行規則に基づく溶接事業者検査(火力設備)の解釈			×	○	○	×		×	○	○	×		×	×	×	×		×	×	×	×
			発電用火力設備に関する技術基準を定める省令			×	○	○	×		×	○	○	×		×	×	×	×		×	×	×	×
			発電用火力設備の技術基準の解釈			×	○	○	×		×	○	○	×		×	×	×	×		×	×	×	×
			LNG地上式貯槽指針			×	×	×	×		×	×	×	×		×	×	×	×		×	×	×	×
			LNG地下式貯槽指針			×	×	×	×		×	×	×	×		×	×	×	×		×	×	×	×
			発電用火力設備に関する技術基準の細目を定める告示			×	○	○	×		×	○	○	×		×	×	×	×		×	×	×	×
2	高圧ガス保安法				・高圧ガス:液化ガス ・特定高圧ガス ・可燃性ガス ・毒性ガス	○	×	×	×	・高圧ガス:圧縮ガス(メタン、エタン) ・高圧ガス:液化ガス(メタン、エタン、プロパン、ブタン) ・可燃性ガス(メタン、エタン、プロパン、ブタン)	○	×	×	×	該当しない	×	×	×	×	・高圧ガス:液化ガス ・特定高圧ガス ・可燃性ガス ・毒性ガス	○	○	○	○
		高圧ガス保安法施行令				○	×	×	×		○	×	×	×		×	×	×	×		○	○	○	×
			一般高圧ガス保安規則			○	×	×	×		○	×	×	×		×	×	×	×		○	○	○	×
			一般高圧ガス保安規則関係例示基準			○	×	×	×		○	×	×	×		×	×	×	×		○	○	○	×
			コンビナート等保安規則			○	×	×	×		○	×	×	×		×	×	×	×		○	○	○	×
			特定設備検査規則			×	×	×	×		×	×	×	×		×	×	×	×		×	○	×	×
			特定設備の技術基準の解釈			×	×	×	×		×	×	×	×		×	×	×	×		×	○	×	×
			高圧ガス保安法及び関係政令の運用及び解釈について(内規)			○	×	×	×		○	×	×	×		×	×	×	×		○	○	○	×
			製造施設の位置、構造及び設備並びに製造の方法等に関する技術基準の細目を定める告示			○	×	×	×		○	×	×	×		×	×	×	×		○	○	○	×
3	消防法				・届出を要する物質	×	○	○	×	該当しない	×	×	×	×	・危険物第4類 引火性液体 第3石油類(重油)	○	○	○	○	・届出を要する物質	×	○	○	×
			危険物の規制に関する政令			×	○	○	×		×	×	×	×		○	○	○	○		×	○	○	×
			危険物の規制に関する規則			×	×	×	×		×	×	×	×		○	○	○	○		×	×	×	×
4	労働安全衛生法				・危険物 ・名称等を通知すべき危険物及び有害物 ・特定化学物質第3類物質	×	○	○	×	・危険物(メタン、エタン、プロパン、ブタン) ・名称等を通知すべき危険物及び有害物(ブタン)	×	×	×	×	・名称等を通知すべき危険物及び有害物(鉱油)	×	×	×	×	・危険物 ・名称等を通知すべき危険物及び有害物 ・特定化学物質第3類物質	×	○	○	×
			労働安全衛生法施行令			×	○	○	×		×	×	×	×		×	×	×	×		×	○	○	×
			特定化学物質障害予防規則			×	○	○	×		×	×	×	×		×	×	×	×		×	○	○	×
5	毒物及び劇物取扱法				・劇物	○	×	×	×	該当しない	×	×	×	×	該当しない	×	×	×	×	・劇物	○	×	×	○
			毒物及び劇物取締法施行令			○	×	×	×		×	×	×	×		×	×	×	×		○	×	×	○

(1) 火力発電設備におけるアンモニア燃料実用化の留意点・問題点

アンモニア、LNG、C重油は、主に規定されている法令が異なるため、各燃料において相違点が生じている。アンモニアを燃料として実用化する際の留意点、ならびにLNG・C重油との相違点・比較を表3-1-6(1)～(8)にまとめた。

これらより、火力発電設備でのアンモニア燃料の実用化においては、法令上の大きな留意点、問題点はないことがわかる。

表 3-1-6(1). 運搬に関するアンモニア燃料実用化の留意点

項目		留意点	LNG・C重油との相違点・比較
1. 運搬	タンカー汚染防止のための設備	汚染防止設備を設けるよう、規定されていない。	C重油は、海洋汚染等及び海上災害に関する法律に規定されている(第5条)が、LNGとアンモニアは、規定されていない。
	運搬車両さびどめ塗装	移動貯蔵タンクの外面に、さびどめのための塗装をするよう、規定されていない。	C重油は、消防法(危険物の規制に関する政令第15条第1項第8号)に規定されているが、LNGとアンモニアは、高压ガス保安法、電気事業法には規定されていない。
	貨物タンク等の構造	危険物船舶運送及び貯蔵規則において、アンモニアのみ、危険物及び毒性高压ガスとして、告示の別表8の2に、応力の規格値や引張強度が規定されているため、構造設計の際、注意を要する。	危険物船舶運送及び貯蔵規則において、LNG、C重油ともに危険物に該当されている。LNGは、毒性高压ガスとは規定されていない。
	陸上運搬する際のローリーについては、C重油は消防法により「移動タンク貯蔵所」として位置付けられ、アンモニア、LNGはタンクの構造等は高压ガス保安法にもとづいて製造される。運搬に関して、規定がない項目はC重油(海洋汚染等及び海上災害に関する法律、消防法)を参考にすれば、適当と考えられる。		

表 3-1-6(2). 貯蔵に関するアンモニア燃料実用化の留意点

項目	留意点	LNG・C重油との相違点・比較	
2. 貯蔵	避雷設備	貯蔵タンクに避雷設備を設置するよう、規定されていない。	C重油は、消防法（危険物の規制に関する政令第11号第1項第14号）に規定されているが、LNGとアンモニアは、電気事業法には規定されていない。
	底板、アニュラプレート、アンカー、躯体、メンブレン、ガスシールプレート、保冷	左にあげた項目は、貯蔵タンクの部位として定義、規定されていない。	LNGは、LNG貯槽指針（地上式項目4、地下式項目6,7,8）に、C重油は、消防法（危険物の規制に関する技術上の基準の細目を定める告示第4条の17第2,4項）に規定されているが、アンモニアは、電気事業法には規定されていない。
	保冷材料	貯蔵タンクの保冷材料は、規定されていない。	LNGは、LNG貯槽指針（地下式項目9）に規定されているが、アンモニアは、電気事業法には規定されていない。
	荷重	熱に関する荷重と積雪荷重の計算・考慮方法が規定されていない。	LNGは、LNG貯槽指針（地上式項目4、地下式項目6,7,8,9）に、C重油は、消防法（危険物の規制に関する技術上の基準の細目を定める告示第4条の18）に規定されているが、アンモニアは、電気事業法には規定されていない。
	放爆構造	貯蔵タンクに放爆構造を設置するよう、規定されていない。（LNG貯槽指針を準用することで、設計が可能であると考えられる）	LNGは、LNG貯槽指針（地上式項目4）に、C重油は、消防法（危険物の規制に関する政令第11条第1項第6号）に規定されているが、アンモニアは、電気事業法には規定されていない。
	塗装	貯蔵タンクの塗装についての規定はないが、腐食防止措置について、電気事業法（発電用火力設備に関わる技術基準を定める省令第52条）に規定されている。	LNGは、LNG貯槽指針（地下式項目8）に、C重油は、消防法に規定されているが、アンモニアは、電気事業法には規定されていない。
	配管の位置、構造及び設備	配管設計に関し、安全に配慮した構造となるよう、規定されていない。（LNG貯槽指針を準用することが適切であると考えられる）	LNGは、LNG貯槽指針（地上式項目4）に、C重油は、消防法（危険物の規制に関する政令第11条第1項第12号）に規定されているが、アンモニアは、電気事業法には規定されていない。
	届出	消防法が規定する危険物に、アンモニアが指定されていないため（消防法 第二条第七項別表第一）、アンモニアについては、消防法は適用されない。ただし、届出の要する物質である劇物として指定されているため（毒劇法第二条2）、貯蔵又は取り扱う者はその旨を届出する義務がある（消防法 第九条の三第一項、危険物の規制に関する政令 第一条の十の第一項六）。	LNGは、危険物として指定されていないため消防法の適用はなく、届出を要する物質でもないため、届出の義務はない。C重油は、危険物として第4類 引火性液体に指定されているため、消防法が適用される。
<p>電気事業法には、アンモニア貯槽について規定はあるが、底板、アニュラプレートなど、貯蔵タンクの部位として定義、規定等の記載がないため、脱硝用の小型常温貯槽を想定していると考えられる。燃料としてのアンモニアの大型貯蔵については、貯槽の設計を電気事業法（発電用火力設備の技術基準の解釈 第58、65条）に規定のあるLNG貯槽に関するLNG地上式貯槽指針または地下式貯槽指針に準拠することが適切であると考えられる。</p> <p>また、アンモニアは消防法、危政令および毒劇法において、届出を要する物質として指定されているため、貯蔵又は取り扱う者はその旨を届出する義務がある。</p>			

表 3-1-6(3). 気化・昇圧に関するアンモニア燃料実用化の留意点(1)

項目		留意点	LNG・C重油との相違点・比較
3. 気化・昇圧	防消火設備	電気事業法(発電用火力設備に関わる技術基準を定める省令第45条)では、「防消火設備を設けること」とあるのみで、詳細は規定されていない。	C重油は、消防法(危険物の規制に関する規則)に詳細が規定されているが、LNGとアンモニアは、電気事業法には詳細が規定されていない。
	防液堤	気化器、昇圧器周りに防液堤を設けるよう、規定されていない。C重油については、消防法に規定されているため、消防法を参考に防消火設備の詳細及び防液堤の検討が必要であると考えられる。	C重油は、消防法(危険物の規制に関する政令第11条第1項第10号の2ル)に規定されているが、LNGとアンモニアは、電気事業法には規定されていない。
	材料	アンモニアの液化ガス設備の材料は規定されている(発電用火力設備に関する技術基準を定める省令第40条)。LNGと規定内容は同じである。昇圧ポンプ等昇圧機については、規定されていない。	LNGの気化器の材料は規定されている(発電用火力設備に関する技術基準を定める省令第40条)。この内容はアンモニアと同じである。LNGの昇圧ポンプ等昇圧機については、材料は規定されていない。
	構造	液化ガス用気化器の加熱部及びプレートフィン型熱交換器の構造が規定されている(発電用火力設備に関する技術基準を定める省令第53条、発電用火力設備の技術基準の解釈第59条第5項)。LNGと規定内容は同じである。昇圧ポンプ等昇圧機については、規定されていない。	LNGについては、アンモニアと同様に気化器の加熱部及びプレートフィン型熱交換器の構造が規定されている(発電用火力設備に関する技術基準を定める省令第53条、発電用火力設備の技術基準の解釈第59条第5項)。また、昇圧ポンプ等昇圧機については、構造は規定されていない。
	安全弁等	液化ガス設備に属する容器には安全弁を設置するよう規定されている(発電用火力設備に関する技術基準を定める省令第42条)。LNGと規定内容は同じである。	LNGでは安全弁を設置するよう規定されている。アンモニアと規定内容は同じである(発電用火力設備に関する技術基準を定める省令第42条)。C重油は該当しない。
	ガスの漏洩対策	アンモニアとLNGではガスの漏洩対策が規定されている(発電用火力設備に関する技術基準を定める省令第43条)。また、ガスが漏洩したときの除害のための措置、ガスケットの使用、予備動力源が規定されている(特定化学物質障害予防規則第14条、第19条の3)。LNGには、その規定はない。	LNGではガスの漏洩対策が規定されている(発電用火力設備に関する技術基準を定める省令第43条)。C重油は該当しない。
	静電気除去	気化・昇圧(ポンプ含む)に関し、アンモニアでは措置をするよう規定されている(発電用火力設備に関する技術基準を定める省令第44条)。LNGと規定内容は同じである。	気化・昇圧(ポンプ含む)に関し、LNGでは措置をするよう規定されている。アンモニアと規定内容は同じである(発電用火力設備に関する技術基準を定める省令第44条)。C重油については、規定されていない。

表 3-1-6(4). 気化・昇圧に関するアンモニア燃料実用化の留意点(2)

項目	留意点	LNG・C重油との相違点・比較
3. 気化・昇圧	計測装置	気化に関し、アンモニアでは、ガス発生量又は液化ガスの流入量、気相部のガスの圧力、気相部のガスの温度の状態を計測する装置を設けるよう規定がある。温水式アンモニア気化器にあつては、気相部のガスの温度を、温水の温度に代えることができる（発電用火力設備の技術基準の解釈第 77 条）。また、昇圧（ポンプ含む）に関し、アンモニアでは、入口及び出口のガスの圧力、入口及び出口の液化ガスの圧力、潤滑油の圧力、潤滑油の温度を計測する装置を設けるよう規定がある発電用火力設備の技術基準の解釈第 77 条）。LNG と規定内容は同じである。
	警報及び非常装置	気化に関し、アンモニアでは、ガスの圧力が異常に上昇した場合、ガスの温度が異常に低下した場合、または液化ガスの液面が異常に上昇した場合を検知し、警報する装置を設けるよう規定がある。温水式アンモニア気化器にあつては、ガスの温度が異常に低下した場合を、温水の温度が異常に低下した場合に代えることができる（発電用火力設備の技術基準の解釈第 78 条）。また、昇圧（ポンプ含む）に関し、アンモニアでは、送出口の圧力が異常に上昇した場合、潤滑油の油圧が異常に低下した場合を検知し警報する装置を設ける必要がある（発電用火力設備の技術基準の解釈第 78 条）。
	遮断装置	気化・昇圧（ポンプ含む）に関し、アンモニアでは、送出口及び受入口の直近に遮断装置を設けるよう規定されている（発電用火力設備の技術基準の解釈第 80 条）。LNG と規定内容は同じである。
	ガスの置換	アンモニアは構造が規定されている（発電用火力設備に関する技術基準を定める省令第 49 条）。LNG と規定内容は同じである。
	腐食防止措置	気化・昇圧（ポンプ含む）に関し、アンモニアは、腐食防止措置を講ずるよう規定されている（特定化学物質障害予防規則第 13 条）。
気化・昇圧に関し、規定がない防消火設備の詳細、防液堤設置は、消防法（C重油等）を参考に対策を講ずれば、アンモニア燃料を使用する際、特段の問題はないと考えられる。また、規定がない昇圧ポンプ等昇圧機の材料及び構造は、既に実在するアンモニア、LNG の昇圧ポンプ等昇圧機に係る材料を参考にすれば問題はないと考えられる。		

表 3-1-6(5). 気化・昇圧に関するアンモニア燃料実用化の留意点(3)

項目		留意点	LNG・C重油との相違点・比較
3. 気化・昇圧	保安物件までの距離	気化・昇圧（ポンプ含む）に関し、アンモニアは、物件による区別はない（発電用火力設備に関する技術基準を定める省令第37条第2項）。本業務の運用条件の場合、アンモニアの保安物件までの距離は120m以上となる。	気化・昇圧（ポンプ含む）に関し、LNGは、第1種保安物件（学校、病院、劇場その他、重要文化財など）と第2種保安物件（住居の用に供するもの）とで距離が異なる（発電用火力設備に関する技術基準を定める省令第37条第2項）。本業務の運用条件の場合、LNGの保安物件までの距離は、第1種保安物件で30m以上、第2種保安物件で20m以上となる。C重油は、規定がない。
	発電所の境界線までの距離	気化・昇圧（ポンプ含む）に関し、アンモニアは、計算方法が規定されている。LNGと計算方法は同じであるが、使用される係数が異なる（温度によりアンモニア：29～144）（発電用火力設備の技術基準の解釈第50条第2号ニ）。	気化・昇圧（ポンプ含む）に関し、LNGは、計算方法が規定されている。アンモニアと計算方法は同じであるが、使用される係数が異なる（温度によりLNG（エタンとして）：272～905）（発電用火力設備の技術基準の解釈第50条第2号ニ）。C重油は、規定がない。
	保有空地	気化・昇圧に関し、アンモニアで規定されていない。	気化・昇圧（ポンプ含まず）に関し、LNG、C重油とも規定されていない。昇圧ポンプに関しては、C重油では、ポンプ設備の周囲に3m以上の幅の空地を保有するよう規定されている（危険物の規制に関する政令第11条第1項第10号の2イ）が、LNGでは、規定されていない。
	保安区画	気化・昇圧（ポンプ含む）に関し、アンモニアでは、保安区画を設けるよう規定され、設備相互の間には30m以上距離を有するよう規定されている（発電用火力設備に関する技術基準を定める省令第38条）。	気化・昇圧（ポンプ含む）に関し、LNGでは、保安区画を設けるよう規定され、設備相互の間には30m以上距離を有するよう規定されている（発電用火力設備に関する技術基準を定める省令第38条）。C重油では、保安区画を設けるよう規定されていない。
	設備相互間距離	気化・昇圧（ポンプ含む）に関し、アンモニアでは、規定されていない。	昇圧（ポンプのみ）に関し、C重油では、ポンプ設備から屋外貯蔵タンクまでの間に、当該屋外貯蔵タンクの空地の幅の1/3以上の距離を保つよう規定されている（危険物の規制に関する政令第11条第1項第10号の2ロ）。気化・昇圧（ポンプ含む）に関し、LNGでは、規定されていない。
	標識・掲示板	気化・昇圧（ポンプ含む）に関し、アンモニアは、バルブ、コックの誤操作防止用の表示、修理・清掃時の措置が規定されている（特定化学物質障害予防規則第15、17、22条）。	気化・昇圧（ポンプ含む）に関し、LNGとC重油は、規定されていない。

表 3-1-6(6). 消費に関するアンモニア燃料実用化の留意点(1)

項目		留意点	LNG・C重油との相違点・比較
4. 消費	消費に係る届出	事業の届出が規定されている（電気事業法第 27 条の 27）。届出内容に燃料の種類がある。	LNG、C重油ともに規定されている（電気事業法第 27 条の 27）。
	材料	アンモニアにおけるガスタービンの附属設備（ポンプ、圧縮機及び液化ガス設備は除く）に属する容器及び管の耐圧部分に使用する材料は、電気事業法（発電用火力設備の技術基準の解釈第 2 条）に規定された材料表はあるものの JIS 規格は規定されていない。また、ガスタービン自体の材料は、規定されていない。ガスタービン及びその附属設備に属する容器及び管の材料選定には、注意が必要であるが、既存の LNG を燃料とするガスタービンを参考に、材料を選定することが適切である。	C重油におけるボイラーまたは蒸気貯蔵器及びその附属設備に属する容器及び管の耐圧部分に使用する材料は、JIS 規格が、電気事業法（発電用火力設備の技術基準の解釈第 2 条）に規定されている。LNGにおけるガスタービンの附属設備（ポンプ、圧縮機及び液化ガス設備は除く）に属する容器及び管の耐圧部分に使用する材料は、電気事業法（発電用火力設備の技術基準の解釈第 2 条）に規定された材料表はあるものの JIS 規格は規定されていない。また、ガスタービン自体の材料は、規定されていない。
	構造	アンモニアにおけるガスタービン及びその附属設備（液化ガス設備は除く）の耐圧部分の構造は、規定されている（発電用火力設備に関する技術基準を定める省令第 19 条）。規定内容は、LNG と同じである。既存の LNG を燃料とするガスタービン及び附属設備を参考に、アンモニアを燃料とするガスタービン及び附属設備の耐圧部分の構造設計は、可能であると考えられる。	C重油におけるボイラーまたは蒸気貯蔵器及びその附属設備の耐圧部分の構造は、規定されている（発電用火力設備に関する技術基準を定める省令第 6 条）。LNGにおけるガスタービン及びその附属設備（液化ガス設備は除く）の耐圧部分の構造は、規定されている（発電用火力設備に関する技術基準を定める省令第 19 条）。規定内容は、アンモニアと同じである。
	安全装置 （流入エネルギーに関する）	ガスタービンは、回転機器として安全に作動するための流入するエネルギーを自動的に調整および遮断する調速装置、非常停止装置を設けるよう規定がされている（発電用火力設備に関する技術基準を定める省令第 20 条、21 条）。LNG と規定内容は、同じである。	LNG の規定内容はアンモニアと同じである（発電用火力設備に関する技術基準を定める省令第 20 条、21 条）。C重油におけるボイラーは、熱的損傷を防ぐための給水装置を設けるよう、規定されている（発電用火力設備に関する技術基準を定める省令第 8、9、10 条）。

表 3-1-6(7). 消費に関するアンモニア燃料実用化の留意点(2)

項目		留意点	LNG・C重油との相違点・比較
4. 消費	ガスの漏洩対策	アンモニアは、ガスの漏洩対策を講ずるよう規定されている(特定化学物質障害予防規則第14条、19条の3)。	LNGは、規定されていない。C重油は、該当しない。
	警報及び非常装置	アンモニアは、警報装置を設けるよう規定されている(特定化学物質障害予防規則第19条)。	LNGとC重油は、規定されていない。
	遮断装置	アンモニアは、遮断装置を設けるよう規定されている(特定化学物質障害予防規則第19条の2)。	LNGとC重油は、規定されていない。
	過圧防止装置・安全弁	ガスタービンの付属装置には、過圧防止装置を設置するよう規定されている(発電用火力設備に関する技術基準を定める省令第22条)。LNGと規定内容は、同じである。	LNGガスタービン、重油ボイラともに、過圧防止装置・安全弁を設置するよう規定されている(発電用火力設備に関する技術基準を定める省令第7、22条)。LNGはアンモニアと規定内容は同じである。
	計測装置	設備(ガスタービン、ボイラ)の損傷防止のため、運転状態を計測する装置を設置するよう規定されている(発電用火力設備に関する技術基準を定める省令第11、23条)。	LNG、重油についてもアンモニアと同様に規定されている(発電用火力設備に関する技術基準を定める省令第11、23条)。
	腐食防止措置	アンモニアは、接触する部分を腐食しにくい材料で造るなどの措置を講じるように規定されている。(特定化学物質障害予防規則第13条)。	LNGとC重油は、規定されていない。
	標識・掲示板	アンモニアは、バルブ、コックの誤操作防止用の表示、修理・清掃時の措置が規定されている(特定化学物質障害予防規則第15、17、22条)。	LNGとC重油は、規定されていない。
	ガスの漏洩対策、警報・非常装置、遮断装置、腐食防止装置及び標識・掲示板について、労働安全衛生法関連の省令 特定化学物質障害予防規則により、LNG及びC重油は、該当項目とはならないため規定はないが、アンモニアは特定化学物質第3類物質に該当するため、規定がある。		

表 3-1-6(8). 環境影響に関するアンモニア燃料実用化の留意点(3)

項目	留意点	LNG・C重油との相違点・比較
5. 環境影響	廃棄に係る技術基準	毒物及び劇物取締法において、LNG 及び C 重油は該当品目とはならないため規定はない。
	窒素酸化物	<p>大気汚染防止法の排出基準は、施設ごと（例：ガスタービン、ボイラーなど）で異なる。窒素を多く含むアンモニア燃焼において、大気汚染防止法における窒素酸化物の排出基準値を満たす必要がある。</p> <p>【施設の種類の種類】 ガスタービン 【排出基準値】 70ppm (大気汚染防止法 大気汚染法防止法規則第 5 条)</p> <p>【施設の種類の種類】 重油専焼ボイラー 【排出基準値】 排出ガス量 20 万 m³N 以上：0.05g/m³N 4～20 万 m³N：0.15g/m³N 1～4 万 m³N：0.25g/m³N 1 万 m³N 未満：0.3g/m³N (大気汚染防止法 大気汚染法防止法規則第 5 条)</p>
	悪臭	悪臭防止法において、「都道府県知事が、悪臭を防止する必要があると認める地域を指定し、特定悪臭物質または臭気指数の規制基準を定める」、とある。地域ごとに基準が設定されるため、アンモニアが、その地域の規制の対象となる可能性がある。
環境影響に関しては、アンモニア燃料を使用する際、ガスタービン等からの排ガスが、窒素酸化物の排出基準値をクリアできるかどうか、及び発電所の建設地が特定悪臭物質または臭気指数の規制基準が定められている地域であるかどうか、について検討が必要である。		

(2) 発電事業（火力発電設備）と発電事業以外（工業炉）との比較

表 3-1-1 の調査対象項目について、アンモニアを発電事業以外（工業炉）の燃料とした際の関連する法令について調査した。アンモニア燃料を取扱う際の主な法令は、発電事業（火力発電設備）では電気事業法であるが発電事業以外（工業炉）では高圧ガス保安法となる

発電事業以外（工業炉）を対象とする高圧ガス保安法には、発電事業（火力発電設備）を対象とする電気事業法に比べて詳細な項目が規定されている。これは、高圧ガス保安法の目的が、高圧ガスによる災害を防止するためであり、一般高圧ガス保安規則関係例示基準や特定設備の技術基準の解釈などにより、技術的内容が具体的に例示されているためと考えられる。

このため、発電事業（火力発電設備）においてより詳細な項目を検討・設計する必要がある場合は、高圧ガス保安法の関連する項目を参考にすることで、詳細事項を補完することが適切であると考えられる。

今回の調査では、発電事業以外（工業炉）についてはベース燃料を石炭としているが、LNG の場合はアンモニアを含め高圧ガス保安法が主な適用法令となる。また、ベース燃料を C 重油とした場合は消防法が主な適用法令となるため、アンモニアによる高圧ガス保安法が追加される。

これらの法令をもとに、アンモニア燃料を実用化する際の発電事業（火力発電設備）と発電事業以外（工業炉）との法令上の相違点を表 3-1-7(1)～(10)にまとめた。各項目において、法令に規定されている場合は、その適用法令を記載し、規定されていない場合は、対応が考えられる法令名を記載した。

表 3-1-7(1). 運搬に関する発電事業（火力発電設備）と発電事業以外（工業炉）との相違点

相違項目	発電事業 (火力発電設備)	発電事業以外 (工業炉)
項目なし	発電事業と発電事業以外とで、相違はない。 (高圧ガス保安法、港則法、港湾法)	

表3-1-7(2). 貯蔵に関する発電事業（火力発電設備）と発電事業以外（工業炉）との相違点(1)

相違項目	発電事業 (火力発電設備)	発電事業以外 (工業炉)
定義		
液化ガス	「液化ガス」とは、通常の使用状態での温度における飽和圧力が 196kPa 以上であって、現に液体の状態であるもの又は圧力が 196kPa における飽和温度が 35 度以下であって、現に液体の状態であるものをいう。(電気事業法施行規則第 1 条第 2 項 4)	「高圧ガス」とは、次の各号のいずれかに該当するものをいう。 常用の温度において圧力が 0.2MPa 以上となる液化ガスであつて現にその圧力が 0.2MPa 以上であるもの又は圧力が 0.2MPa となる場合の温度が 35 度以下である液化ガス (高圧ガス第 2 条 3)
手続き		
貯蔵に係る許可	対応が考えられる法令は、電気事業法であるが、許可を受けるよう規定されていない。	製造の事業所ごとに許可を受けるよう規定されている。(高圧ガス保安法第 5 条第 1 項)
貯蔵に係る届出	発電事業ごとに、届出をするよう規定されている。(電気事業法第 27 条の 27)	製造の事業所ごとに、届出をするよう規定されている。(高圧ガス保安法第 5 条第 2 項)
保安		
安全弁等 ・放出管開口部の位置	対応が考えられる法令は、電気事業法であるが、規定されていない。	規定されている。(高圧ガス保安法 一般高圧ガス保安規則第 6 条第 1 項第 19 号)
ガスの漏洩対策 ・毒性ガス配管の二重管	対応が考えられる法令は、電気事業法であるが、規定されていない。	規定されている。(高圧ガス保安法 一般高圧ガス保安規則第 6 条第 1 項第 36 号)
防液堤 ・材料	対応が考えられる法令は、電気事業法であるが、規定されていない。	規定されている。(高圧ガス保安法 一般高圧ガス保安規則関係例示基準項目 5)
静電気除去 ・接地の設計基準	対応が考えられる法令は、電気事業法であるが、規定されていない。	規定されている。(高圧ガス保安法 一般高圧ガス保安規則関係例示基準項目 30)
防消火設備 ・防消火設備の性能、設置	対応が考えられる法令は、電気事業法であるが、規定されていない。	規定されている。(高圧ガス保安法 一般高圧ガス保安規則関係例示基準項目 31)
計測装置 ・温度計	対応が考えられる法令は、電気事業法であるが、規定されていない。	設置するよう規定されている。(高圧ガス保安法 一般高圧ガス保安規則第 6 条第 1 項第 18 号)
計測装置 ・計器の設計基準	対応が考えられる法令は、電気事業法であるが、規定されていない。	規定されている。(高圧ガス保安法 一般高圧ガス保安規則関係例示基準項目 12, 13, 16)
警報及び非常装置 ・停電時の保安電力、通報のための措置	対応が考えられる法令は、電気事業法であるが、規定されていない。	規定されている。(高圧ガス保安法 一般高圧ガス保安規則関係例示基準項目 20, 32)
負圧防止措置	対応が考えられる法令は、電気事業法であるが、講ずるよう規定されていない。	負圧防止措置を講ずるよう規定されている。(高圧ガス保安法 一般高圧ガス保安規則第 6 条第 1 項第 21 号)
	電気事業法と高圧ガス保安法とでは、規制の対象となる圧力値が若干異なっている。電気事業法に規定のない項目については、高圧ガスの保安に関する観点から、発電事業においても、高圧ガス保安法の関連項目を準用することが望ましいと考えられる。また、電気事業法（発電用火力設備の技術基準の解釈）と高圧ガス保安法（一般高圧ガス保安規則）の両方に規定がある項目は、規定内容に整合性があるが、一般高圧ガス保安規則のほうが、規定内容は詳細に示されている。	

表3-1-7(3). 貯蔵に関する発電事業（火力発電設備）と発電事業以外（工業炉）との相違点(2)

相違項目	発電事業 (火力発電設備)	発電事業以外 (工業炉)
構造・材料		
側板 ・ 厚さ	次のうちいずれか大きい値以上であるよう規定されている。 ・ 高合金鋼板及び非鉄金属板にあつては 1.5mm、その他の材料にあつては 3mm。 ・ JIS による規定値 (電気事業法 発電用火力設備の技術基準の解釈第 59 条)	次のうちの最小厚さ以上の厚さであるよう規定されている。 ・ 高合金鋼板又は非鉄金属板を使用する部分の厚さは 1.5 mm、炭素鋼板又は低合金鋼板を使用する部分の厚さは 2.5 mm ・ 与えられた計算式により得られる値 (高圧ガス保安法 特定設備の技術基準の解釈第 6 条第 1 項第 (1) (2) 号)
屋根 ・ 厚さ	JIS により算出した値と規定されている。(電気事業法 発電用火力設備の技術基準の解釈第 60 条)	与えられた計算式によって算出した値と規定されている。(高圧ガス保安法 特定設備の技術基準の解釈第 6 条第 1 項第 (3) 号)
荷重 ・ 貯蔵されるガス又は液化ガスの圧力及び自重、貯槽の自重、風荷重	規定されている。(電気事業法 発電用火力設備の技術基準の解釈第 64 条)	対応が考えられる法令は、高圧ガス保安法であるが、規定されていない。
材料	発電事業と発電事業以外とで適用 JIS が異なる。(発電事業：電気事業法 発電用火力設備の技術基準の解釈第 55 条第 2 項、発電事業以外：高圧ガス保安法 特定設備の技術基準の解釈第 4 条)	
材料 ・ 支持物	材料が規定されている。(電気事業法 発電用火力設備の技術基準の解釈第 56 条第 1 項第 1 号)	対応が考えられる法令は、高圧ガス保安法であるが、材料が規定されていない。
フランジ	発電事業と発電事業以外とで適用 JIS が異なる。(発電事業：電気事業法 発電用火力設備の技術基準の解釈第 13 条、発電事業以外：高圧ガス保安法特定設備の技術基準の解釈第 6 条第 2 項)	
	適合規格として JPI (石油学会規格) を規定している。 ・ JPI-7S-15 「石油工業用フランジ」 ・ JPI-7S-43-2008 「石油工業用大口径フランジ」	JPI を規定していない。

表3-1-7(4). 貯蔵に関する発電事業（火力発電設備）と発電事業以外（工業炉）との相違点(3)

相違項目	発電事業 (火力発電設備)	発電事業以外 (工業炉)
構造・材料		
弁 ・弁の材料として使用してはならないJIS	規定されている。(電気事業法発 電用火 力設備の技術基準の解釈第55条第2項)	対応が考えられる法令は、高圧ガス保安 法であるが、材料が規定されていない。
弁 ・貯槽直近のバルブ、貯槽に 取り付けられた配管に設けるバ ルブ、操作に係る適切な措 置	対応が考えられる法令は、電気事業法で あるが、規定されていない。	規定されている。(高圧ガス保安法 一般 高圧ガス保安規則第6条第1項第24,41 号)
管の可とう措置	規定されている。(電気事業法発電用火 力設備の技術基準の解釈第70条)	対応が考えられる法令は、高圧ガス保安 法であるが、規定されていない。
接続 ・保安上必要な強度を有するフ ランジ接合またはネジ接合継 手についての基準	対応が考えられる法令は、電気事業法で あるが、規定されていない。	規定されている。(高圧ガス保安法 一般 高圧ガス保安規則関係例示基準項目26)
ガスの置換	ガスの置換ができる構造となるよう、規 定されている。(電気事業法 発電用火 力設備に関する技術基準を定める省令第 49条)	対応が考えられる法令は、高圧ガス保安 法であるが、ガスの置換ができる構造と なるよう、規定されていない。
	貯槽の構造、材質等に関する規定は、概ね、発電事業（火力発電設備）は電気事 業法（発電用火設備の技術基準の解釈等）、発電事業以外（工業炉）は高圧ガス 保安法（一般高圧ガス保安規則等）に記載されている。相互、もしくは一方に記載 がある場合もあるが、その際は、記載のある他方を準用することが望ましい。	

表3-1-7(5). 貯蔵に関する発電事業（火力発電設備）と発電事業以外（工業炉）との相違点(4)

相違項目	発電事業 (火力発電設備)	発電事業以外 (工業炉)
設置		
保安物件までの距離	第一種保安物件：120m 第二種保安物件：120m (電気事業法 発電用火力設備に関する技術基準を定める省令第37条第2項)	第一種保安物件：120m 第二種保安物件：80m (高圧ガス保安法 一般高圧ガス保安規則第6条第1項第2号)
発電所（所内）の境界線までの距離	規定されている。(電気事業法 発電用火力設備の技術基準の解釈第50条第2号二)	対応が考えられる法令は、高圧ガス保安法であるが、規定されていない。
貯槽間 ・保安上必要な距離	1mまたは当該貯槽の直径による値で、いずれか大きい値をとるよう規定されている。(電気事業法 発電用火力設備の技術基準の解釈第51条第1号) 【貯槽の直径による値】 最大貯槽の直径の1/2（地下式の場合は1/4）(電気事業法 発電用火力設備の技術基準の解釈第51条第1号)	1mまたは当該貯槽の直径による値で、いずれか大きい値をとるよう規定されている。(高圧ガス保安法 一般高圧ガス保安規則第6条第1項第5号) 【貯槽の直径による値】 当該貯槽及び他の可燃性ガス若しくは酸素の貯槽の最大直径の和の1/4（適用法令名：高圧ガス保安法 一般高圧ガス保安規則第6条第1項第5号）
保安区画 ・保安上必要な距離	区画を設け、保安上必要な距離として30mをとるよう規定されている。(電気事業法 発電用火力設備の技術基準の解釈第52条)	火気を取り扱う施設に対し8mの距離をとるよう規定されている。(高圧ガス保安法 一般高圧ガス保安規則第6条第1項第3号)
標識・掲示板 ・高圧ガス製造事業所等の境界線、警戒標の基準、可燃性ガスの貯槽であることが容易にわかる措置の基準、毒性ガスの製造施設である旨を容易に識別することができる措置の基準	対応が考えられる法令は、電気事業法であるが、規定されていない。	規定されている。(高圧ガス保安法 高圧ガス保安法 一般高圧ガス保安規則関係例示基準項目1, 4, 25)
	貯蔵設備に関する保安距離等に関しては、概ね、電気事業法（発電用火力設備の技術基準の解釈等）、高圧ガス保安法（一般高圧ガス保安規則等）に規定されている。	

表 3-1-7(6). 気化・昇圧に関する発電事業（火力発電設備）と発電事業以外（工業炉）との相違点(1)

相違項目	発電事業 (火力発電設備)	発電事業以外 (工業炉)
保安		
安全弁等 ・ 放出管開口部の位置	対応が考えられる法令は、電気事業法であるが、規定されていない。	規定されている。(高圧ガス保安法 一般高圧ガス保安規則関係例示基準項目 14)
ガスの漏洩対策 ・ 毒性ガス配管の二重管	対応が考えられる法令は、電気事業法であるが、規定されていない。	規定されている。(高圧ガス保安法 一般高圧ガス保安規則第 6 条第 1 項第 36 号)
静電気除去 ・ 接地の設計基準	対応が考えられる法令は、電気事業法であるが、規定されていない。	規定されている。(高圧ガス保安法 一般高圧ガス保安規則関係例示基準項目 30)
防消火設備 ・ 防消火設備の性能、設置	対応が考えられる法令は、電気事業法であるが、規定されていない。	規定されている。(高圧ガス保安法 一般高圧ガス保安規則関係例示基準項目 31)
計測装置 ・ 温度計	対応が考えられる法令は、電気事業法であるが、設置するよう規定されていない。	設置するよう規定されている。(高圧ガス保安法 一般高圧ガス保安規則第 6 条第 1 項第 18 号)
計測装置 ・ 計器の設計基準	対応が考えられる法令は、電気事業法であるが、規定されていない。	規定されている。(高圧ガス保安法 一般高圧ガス保安規則関係例示基準項目 12, 13)
計測装置 ・ 潤滑油の圧力計、温度計	設置するよう規定されている。(電気事業法 発電用火力設備の技術基準の解釈 第 77 条)	対応が考えられる法令は、高圧ガス保安法であるが、設置するよう規定されていない。
警報及び非常装置 ・ 潤滑油の圧力異常を検知する装置	設置するよう規定されている。(電気事業法 発電用火力設備の技術基準の解釈 第 78 条)	対応が考えられる法令は、高圧ガス保安法であるが、設置するよう規定されていない。
ガスの置換	ガスの置換ができる構造となるよう、規定されている。(電気事業法 発電用火力設備に関する技術基準を定める省令第 49 条)	対応が考えられる法令は、高圧ガス保安法であるが、ガスの置換ができる構造となるよう、規定されていない。
	高圧ガスの保安に関する観点から、発電事業（火力発電設備）においても、電気事業法において規定されていない内容は、高圧ガス保安法の関連する項目を準用することが望ましいと考えられる。また、電気事業法（発電用火力設備の技術基準の解釈）と高圧ガス保安法（一般高圧ガス保安規則）の両方に規定がある項目は、規定内容に整合性があるが、一般高圧ガス保安規則のほうが、規定内容は詳細に示されている。	

表3-1-7(7). 気化・昇圧に関する発電事業（火力発電設備）と発電事業以外（工業炉）との相違点(2)

相違項目	発電事業 (火力発電設備)	発電事業以外 (工業炉)
構造・材料		
材料 ・ 気化器	発電事業と発電事業以外とで適用 JIS が異なる。(発電事業：電気事業法 発電用火力設備の技術基準の解釈第 55 条第 2 項、発電事業以外：高圧ガス保安法 特定設備の技術基準の解釈第 4 条)	
材料 ・ 昇圧機・昇圧ポンプ	対応が考えられる法令は、電気事業法であるが、規定されていない。	規定されている。(高圧ガス保安法 特定設備の技術基準の解釈第 4 条)
構造 ・ プレートフィン型熱交換器	規定されている。(電気事業法 発電用火力設備の技術基準の解釈第 59 条第 5 項)	対応が考えられる法令は、高圧ガス保安法であるが、規定されていない。
	電気工作物の維持及び運用の規制の結果として、高圧ガス保安法と比較し、電気事業法においては、より機械的な内容を規制していると思われる。	
設置		
保安物件までの距離	第一種保安物件：120m 第二種保安物件：120m (電気事業法 発電用火力設備に関する技術基準を定める省令第 37 条第 2 項)	第一種保安物件：120m 第二種保安物件：80m (高圧ガス保安法 一般高圧ガス保安規則第 6 条第 1 項第 2 号)
発電所（所内）の境界線までの距離	規定されている。(電気事業法 発電用火力設備の技術基準の解釈第 50 条第 2 号二)	対応が考えられる法令は、高圧ガス保安法であるが、規定されていない。
保安区画 ・ 保安上必要な距離	区画を設け、保安上必要な距離として 30m をとるよう規定されている。(電気事業法 発電用火力設備の技術基準の解釈第 52 条)	火気を取り扱う施設に対し 8m の距離をとるよう規定されている。(高圧ガス保安法 一般高圧ガス保安規則第 6 条第 1 項第 3 号)
標識・掲示板 ・ 毒性ガスの製造施設である旨を容易に識別することができる措置の基準	対応が考えられる法令は、電気事業法であるが、規定されていない。	規定されている。(高圧ガス保安法 一般高圧ガス保安規則関係例示基準項目 25)

表 3-1-7(8). 消費に関する発電事業（火力発電設備）と発電事業以外（工業炉）との相違点

相違項目	発電事業 (火力発電設備)	発電事業以外 (工業炉)
手続き		
届出	発電事業ごとに届出をするよう規定されている。(電気事業法第 27 条の 27)	事業所ごとに届出をするよう規定されている。(高圧ガス保安法第 24 条の 2)
保安		
逆流防止装置 ・ 設置とその位置	対応が考えられる法令は、電気事業法であるが、規定されていない。	規定されている。(高圧ガス保安法 一般ガス保安規則第 55 条第 1 項第 15 号)
ガスの漏洩対策 ・ 毒性ガス配管の二重管	対応が考えられる法令は、電気事業法であるが、規定されていない。	規定されている。(高圧ガス保安法 一般ガス保安規則第 55 条第 1 項第 24 号)
静電気除去 ・ 除去装置の設置	対応が考えられる法令は、電気事業法であるが、規定されていない。	規定されている。(高圧ガス保安法 一般ガス保安規則第 55 条第 1 項第 25 号)
防消火設備	対応が考えられる法令は、電気事業法であるが、設置するよう規定されていない。	設置するよう規定されている。(高圧ガス保安法 一般ガス保安規則第 55 条第 1 項第 27 号)
警報及び非常装置 ・ 停電等により設備の機能が失われることのないための措置、ガス漏洩検知警報設備、その設置場所の基準	対応が考えられる法令は、電気事業法であるが、規定されていない。	規定されている。(高圧ガス保安法 一般ガス保安規則第 55 条第 1 項第 26 号)
調速装置 (ガスタービン)	規定されている (発電用火力設備に関する技術基準を定める省令第 20 条)。	規定されていない (工業炉は該当しない)。
非常停止装置 (ガスタービン)	規定されている (発電用火力設備に関する技術基準を定める省令第 21 条)。	規定されていない (工業炉は該当しない)。
過圧防止装置 (ガスタービンの附属設備)	規定されている (発電用火力設備に関する技術基準を定める省令第 22 条)。	規定されていない (工業炉は該当しない)。
計測装置 (ガスタービン)	規定されている (発電用火力設備に関する技術基準を定める省令第 23 条)。	規定されていない (工業炉は該当しない)。
	高圧ガスの保安に関する観点から、発電事業 (火力発電設備) においても、電気事業法において規定されていない内容は、高圧ガス保安法の関連する項目を準用することが望ましいと考えられる。	
構造・材料		
材料	ガスタービンの附属設備に属する容器及び管の耐圧部分に使用する材料が規定されている。(電気事業法 発電用火力設備に関する技術基準を定める省令第 18 条)	消費設備でガスの通る部分の材料が規定されている。(高圧ガス保安法 一般ガス保安規則第 55 条第 1 項第 5 号)
設置		
保安物件までの距離	対応が考えられる法令は、電気事業法であるが、規定されていない。	第一種保安物件 : 120m 第二種保安物件 : 80m (高圧ガス保安法 一般ガス保安規則第 55 条第 1 項第 2 号)

表 3-1-7(9). 環境影響に関する発電事業（火力発電設備）と発電事業以外（工業炉）との相違点(1)

相違項目	発電事業 (火力発電設備)	発電事業以外 (工業炉)
<p>排出ガス ・ばいじん</p>	<p>【施設の種類の種類】 ガスタービン 【排出基準値】 0.05g/m³N (大気汚染防止法 大気汚染法防止法施行規則第 4 条) 大気汚染防止法施行令別表第 1、大気汚染防止法施行規則別表第 2 に対象施設ならびに基準値が規定されている。また、自治体条例もしくは関係自治体との公害防止協定により基準値が別に規定される場合がある。</p>	<p>【施設の種類の種類】 ボイラーのうちガスを専焼させるもの 【排出基準値】 排出ガス量 4 万 m³ 以上 : 0.05g/m³N 4 万 m³ 未満 : 0.1g/m³N (大気汚染防止法 大気汚染法防止法施行規則第 4 条) 大気汚染防止法施行令別表第 1、大気汚染防止法施行規則別表第 2 に対象施設ならびに基準値が規定されている。また、自治体条例もしくは関係自治体との公害防止協定により基準値が別に規定される場合がある。</p>
<p>排出ガス ・窒素酸化物</p>	<p>【施設の種類の種類】 ガスタービン 【排出基準値】 70ppm (大気汚染防止法 大気汚染法防止法施行規則第 5 条) 大気汚染防止法施行令別表第 1、大気汚染防止法施行規則別表 3 の 2 に対象施設ならびに基準値が規定されている。また、自治体条例もしくは関係自治体との公害防止協定により基準値が別に規定される場合がある。</p>	<p>【施設の種類の種類】 ボイラーのうちガスを専焼させるもの 【排出基準値】 排出ガス量 50 万 m³ 以上 : 60ppm 4 万 m³ 以上 50 万 m³ 未満 : 100ppm 1 万 m³ 以上 4 万 m³ 未満 : 130ppm 1 万 m³ 未満 : 150ppm (大気汚染防止法 大気汚染法防止法施行規則第 5 条) 大気汚染防止法施行令別表第 1、施行規則別表 3 の 2 に対象施設ならびに基準値が規定されている。 また、自治体条例もしくは関係自治体との公害防止協定により基準値が別に規定される場合がある。</p>
	<p>大気汚染防止法において、排出ガスのばいじん及び窒素酸化物の排出基準値の違いは、発電事業（火力発電設備）と発電事業以外（工業炉）との違いではなく、排出設備の違い（ガスタービン、ボイラー等）によるものであり、事業の相違による排出基準値の相違はない。</p>	

表 3-1-7(10). 環境影響に関する発電事業（火力発電設備）と発電事業以外（工業炉）との相違点(2)

相違項目	発電事業 (火力発電設備)	発電事業以外 (工業炉)
環境アセスメントの有無	<p>火力発電所としての条件が規定されている。</p> <p>【火力発電所】</p> <p>第1種事業（必ず環境アセスメントを行う）：15万kW以上</p> <p>第2種事業（環境アセスメントが必要か個別に判断）：11.25万kW～15万kW</p> <p>また、埋立、干拓する場合、面積による。条件は、発電事業以外（工業炉）と同じである。</p> <p>（環境影響評価法 環境影響評価法施行令別表第1）</p>	<p>工業炉としての条件は、規定されていない。</p> <p>ただし、埋立、干拓する場合、面積による。</p> <p>50ha超：第1種事業（必ずアセスメントを行う）</p> <p>40～50ha：第2種事業（環境アセスメントが必要か個別に判断）</p> <p>（環境影響評価法 環境影響評価法施行令別表第1）</p>
	<p>環境アセスメントの必要性については、発電事業（火力発電設備）においては、基準出力以上設備において必要となる。発電事業以外（工業炉）としての条件は、規定されていない。また、発電事業（火力発電設備）と発電事業以外（工業炉）ともに、埋立、干拓する場合、埋立・干拓する面積によって環境アセスメントの必要性は異なる。</p>	
	<p>アンモニア燃料を使用する際、上記の相違点に注意すれば、環境影響について、特段の問題はないと考えられる。</p>	

(3) アンモニアの取扱い地域による違い

アンモニアの取扱い地域による法令上の違いについては、比較対象地域を首都圏と東北地方として調査した。その結果、排水と悪臭について、地域による違いがあった。

a. 排水

窒素含有量については、水質汚濁防止法によると、指定水域の総量規制基準は、「定められた算式より値を算出し、規定する。」とあり、その指定水域も規定されている（水質汚濁防止法 第4条の5、水質汚濁防止法施行規則 第1条の6）。

首都圏に関する指定地域は、「館山市洲崎から三浦市劔崎まで引いた線及び陸岸により囲まれた海域」と規定されている（水質汚濁防止法施行令 第4条の2）。東北地方に関しては、指定地域は、規定されていない。

b. 悪臭

大気中のアンモニア濃度については、悪臭防止法において、「都道府県知事が、規制地域の規制基準を定める。」とある（悪臭防止法 第4条）。また、「規制地域は、都道府県知事が指定する。」と規定されている（悪臭防止法 第3条）。

規制地域と規制基準については、都道府県へ確認する必要があるが、首都圏と東北地方とで規制基準が異なっている可能性がある。

規制基準については、特定悪臭物質規制、または臭気指数規制を定めるよう規定されている。よって、特定悪臭物質規制のみ、臭気指数規制のみ、または地域内で特定悪臭物質規制と臭気指数規制を区分している等、地域によって規制区分が異なっている。

ここでは、首都圏と東北地方のアンモニア濃度規制の比較として、千葉県市原市、神奈川県川崎市、宮城県仙台市及び石巻市岩手県釜石市をまとめた結果を表3-1-8に示す。例えば、市原市は、特定悪臭物質規制と臭気指数規制（敷地境界）を用途地域ごとに定め、川崎市は、特定悪臭物質規制と同時に、排出口の流量を規制している。一方、仙台市は特定悪臭物質規制のみ、石巻市は臭気指数規制のみ定めている。釜石市は、臭気指数規制のみであるが、敷地境界の規制においては、用途地域ごとに定めている。

表 3-1-8. 首都圏と東北地方のアンモニア濃度規制の比較

項目 規制基準	千葉県	神奈川県	宮城県		岩手県
	市原市 ¹	川崎市 ²	仙台市 ³	石巻市 ⁴	釜石市 ⁵
特定悪臭物質 規制	1ppm（工業専用 地域 ^{注1} ）	1ppm（排出口の 規制流量あり）	1ppm	なし	なし
臭気指数規制 敷地境界	・第1・2種低層 住居地域、第 1・2種中高層 住居地域、第 1・2種住居地 域：12 ・近隣商業地 域、商業地域、 準工業地域： 13 ・工業地域：14	なし	なし	15	・第1・2種低層 住居専用地区 域、第1・2種 中高層住居専 用地区域、第1・ 2種住居地域、 準住居地域、 近隣商業地 域、商業地域、 準工業地域： 12 ・工業地域、工 業専用地区域： 15
臭気指数規制 気体排出	悪臭防止法施 行規則第6条の 2に定める方法 により算出した 臭気排出強度 又は臭気指数	なし	なし	悪臭防止法施行規則第6条の2に 定める方法により算出した臭気排 出強度又は臭気指数	
臭気指数規制 排水	悪臭防止法施 行規則第6条の 3に定める方法 により算出した 臭気指数	なし	なし	悪臭防止法施行規則第6条の3に 定める方法により算出した臭気指 数	

注1：区分は、都市計画法第8条第1項第1号による用途地域による。

¹ 市原市 HP :

<https://www.city.ichihara.chiba.jp/kurashi/kankyoryokuka/kankyo/kougai'boushi/syuuki.html>

² 川崎市 HP : <http://www.city.kawasaki.jp/300/page/0000017230.html>

³ 仙台市 HP :

<http://www.city.sendai.jp/taiki/kurashi/machi/kankyohozen/kogai/boshitaisaku/akushu.html>

⁴ 石巻市 HP : <http://www.city.ishinomaki.lg.jp/cont/10301000/3701/20150903165236.html>

⁵ 釜石市 HP :

http://www.city.kamaishi.iwate.jp/kurasu/kankyo/kankyohozen/detail/1191947_2189.html

3-1-3. 調査結果のまとめ

火力発電設備等においてアンモニアを燃料として利用する際の法令上の規定について、関係法令を調査した。また、既存燃料である LNG、C 重油についてもアンモニアとの比較のために同様の調査を行い、アンモニアの燃料利用に係る留意点等についてまとめた。

さらに、発電事業以外設備についても調査を行い、発電事業と発電事業以外でのアンモニアの燃料利用における法規制の比較を行ったほか、アンモニアの取扱う地域による法規制の違いについても調査した。

(1) アンモニア燃料実用化の留意点・問題点

- a. 火力発電設備における燃料に関する適用法令については、アンモニアの場合は、貯蔵、気化・昇圧、消費に関しては、概ね電気事業法により規定されている。また、運搬、環境影響ほかについては、高圧ガス保安法、労働安全衛生法、毒物及び劇物取扱法、港則法、港湾法、環境アセスメント法、悪臭防止法、大気汚染防止法、水質汚濁防止法、騒音規制法、振動規制法、下水道法、地球温暖化対策の推進に関する法律に規定がある。LNG、C 重油に関しては、アンモニアと同様であるが、このほかに LNG 貯槽指針、消防法等がある。
- b. 火力発電設備においてアンモニアを燃料利用する際、設備は電気事業法に基づくことになる。電気事業法に関連する項目・規定がない場合は、高圧ガス保安法、消防法、LNG 貯槽指針等を準用することが適当である。
- c. 運搬に関しては、危険物船舶運送及び貯蔵規則において、アンモニアに係る要件が規定されており、要件の内容については、応力の規格値や引張強度が規定されている。また、ローリー運搬では、アンモニア及び LNG は高圧ガス保安法、C 重油は消防法により規定されている。
- d. 環境影響に関しては、アンモニアのみが毒物及び劇物取扱法に規定されており、環境影響について関連項目がある。また、アンモニアを燃料とする際、ガスタービン等からの排ガスが、窒素酸化物の排出基準値を満たせるかどうか、及び発電所の建設地がアンモニア濃度の規制基準が定められている地域であるかどうか等の確認が必要である。
- e. アンモニアを火力発電設備等で燃料として利用する際の法令上の大きな問題点はない。

(2) 発電事業（火力発電設備）と発電事業以外（工業炉）での相違点

- a. アンモニアの燃料利用に関しては、発電事業（火力発電設備）は電気事業法に、発電事業以外（工業炉）は、高圧ガス保安法に概ね基づくことになる。
- b. 発電事業（火力発電設備）と発電事業以外（工業炉）との法令上の相違点は、発電事業以外（工業炉）は発電事業（火力発電設備）に比べてより多くの項目、特に設備設計について詳細に規定されているほか、貯蔵等の届出に関して若干の違いがある。

- c. 発電事業（火力発電設備）において、アンモニア燃料の利用設備の設計をより詳細に行うことが必要とされた場合、高圧ガス保安法の関連する項目を参考にすることで詳細事項を補完できると考えられる。また、高圧ガス保安法に基づいた液化石油ガス保安規則においても、一般高圧ガス保安規則と同様に関係例示基準が規定されており、関連項目を参考にできると考えられる。
- d. 運搬に関しては、発電事業（火力発電設備）および発電事業以外（工業炉）とも高圧ガス保安法、港則法、港湾法により規定されており、発電事業（火力発電設備）と発電事業以外（工業炉）とは法令上の相違点はない。
- e. 環境影響に関しては、アンモニア燃料の利用による窒素酸化物の増加が考えられるが、大気汚染防止法における排出基準値については、排出機器の相違による違いはあるが、発電事業（火力発電設備）と発電事業以外（工業炉）との業種間の違いはない。環境アセスメントの必要性については、発電事業（火力発電設備）においては、基準出力以上設備において必要となる。また、業種によらず、埋立、干拓する場合、埋立・干拓する面積によって環境アセスメントの必要性は異なる。

(3) アンモニアの取扱い地域による違い

- a. アンモニアを燃料として利用する際の法令上の規制等については、取り扱う地域による違いはほとんどない。
- b. 法令上で地域差がある項目は、水質汚濁防止法における排水中の窒素含有量、悪臭防止法における大気中のアンモニア濃度の基準値である。

3-2. アンモニア発電利用技術の内燃火力発電機器への適用検討

3-2-1. 検討概要

アンモニア燃料は炭素を含まないため CO₂削減効果はあるが、低カロリーで窒素を含むために排ガス組成等が変わるため、発電システムにおける熱サイクルへの影響が考えられる。

ここでは、LNG ガスタービンコンバインドサイクル発電設備 (GTCC) において、アンモニアを燃料として利用した際の熱サイクルに与える影響について、排ガス組成ならびに熱サイクルシミュレーション解析により検討した。

ガスタービンコンバインドサイクル発電システムは、ガスタービン発電と蒸気タービン発電を組み合わせた複合発電システムであり、その概略は図 3-2-1 に示すとおりである。

なお、熱サイクル解析においては、(一財)電力中央研究所が開発した発電システム熱効率解析汎用プログラム EnergyWin を用いた。

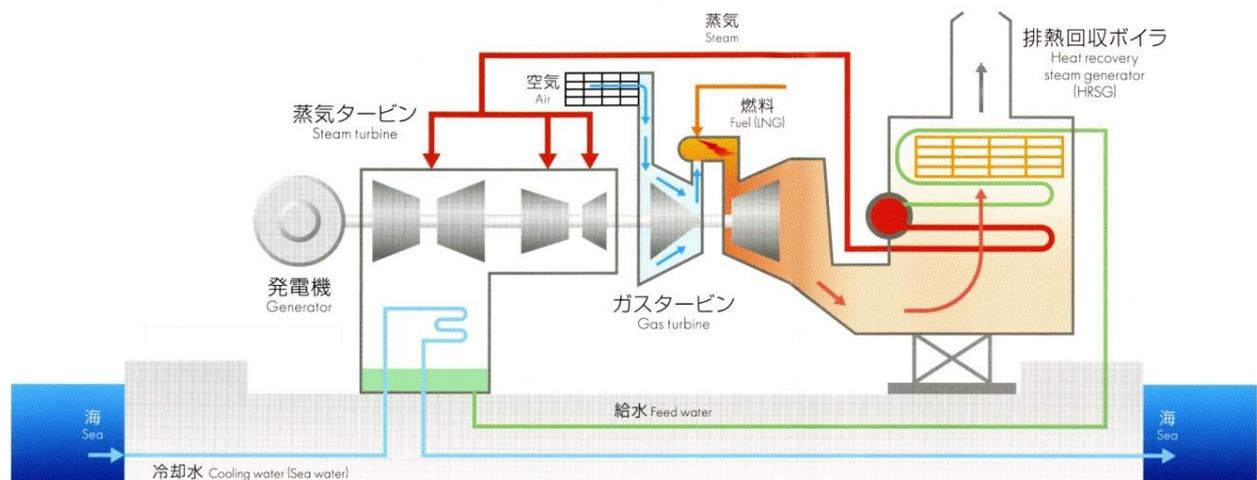
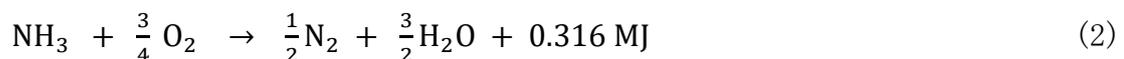
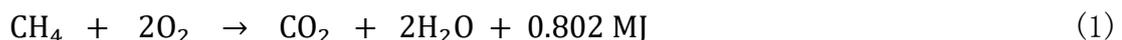


図 3-2-1. ガスタービンコンバインドサイクル発電システムの概要

3-2-2. アンモニア混焼時のプラントへの影響

(1) 排ガス組成

ガスタービンコンバインドサイクル発電設備のガスタービンの燃料 (LNG) の主成分であるメタン、ならびにアンモニアの燃焼反応式は次のとおりである (発熱量は低位発熱量 LHV)。



また、モルあたりの発熱量比は、

$$\text{CH}_4/\text{NH}_3 = 2.54 \quad (3)$$

である。

ここで、等発熱量のメタンとアンモニア ($\text{CH}_4 : \text{NH}_3 = 1 : 2.54$) を理論空気量で完全燃焼させた際の排ガス量 (mol) は、

$$1\text{CH}_4 \quad \text{CO}_2 : \text{H}_2\text{O} : \text{N}_2 \text{ etc.} = 1 : 2 : 7.52 \text{ (Total 10.25)} \quad (4)$$

$$2.54\text{NH}_3 \quad \text{N}_2 : \text{H}_2\text{O} : \text{N}_2 \text{ etc.} = 1.27 : 3.81 : 7.17 \text{ (Total 12.25)} \quad (5)$$

であり、アンモニアを LHV 換算で 20% を混焼した際の排ガス量 (理論空気量で完全燃焼) は、

$$1\text{CH}_4 \times 0.8 + 2.54\text{NH}_3 \times 0.2 = 10.25 \times 0.8 + 12.25 \times 0.2 = 10.87 \text{ mol}$$

となり、メタン専焼時に比べて 10% 程度増加する。

一方、アンモニア混焼時、メタン専焼時と同熱量 (LHV) の燃料を投入した場合は、燃焼ガスの H_2O 増加、 CO_2 減少等による比熱の増加ならびにガス量の増加により、燃焼ガス温度は低下する。このため、燃焼ガス温度をメタン専焼時と同じ温度に維持するためには投入燃料量を増加する必要がある。

このように、アンモニア混焼によりガスタービンへの投入熱量が増加すれば、燃焼ガス量がさらに増加してガスタービン出力が増加することになり、GTCC の熱バランスへの影響が大きくなると考えられる。

(2) アンモニア燃料対応

アンモニアの貯蔵は、常圧液体、 -33.4°C を想定している。アンモニアは気化後にガスタービンに供給するが、その際 2~3MPa 程度の圧力が必要であり、燃焼器への供給時に再液化の懸念がある。アンモニアガスがこの圧力において再液化しないためには、 $70\sim 80^\circ\text{C}$ 程度に昇温する必要があり、気化・昇温用熱源の確保が必要となる。

熱源として蒸気を用いる場合は、従来型の蒸気タービン発電システムであれば蒸気タービンより様々な圧力の抽気系統があることから最も適した圧力の蒸気を使用することができる。しかし、ガスタービンコンバインドサイクル発電システムにおいては、蒸気タービンからの抽気ラインがないため排熱回収ボイラの蒸気を直接に用いる必要がある。

このことから、既存のシステムを大きく変更せずに熱源を確保するには、図 3-2-2 に示すような低圧過熱器出口などの蒸気を使用することが考えられる。

また、新設のプラントもしくは既設排熱回収ボイラの改造を考慮するならば、排熱回収ボイラの低圧節炭器の下流側に液体アンモニアの気化・昇温用の排熱回収器を設置することも考えられる。

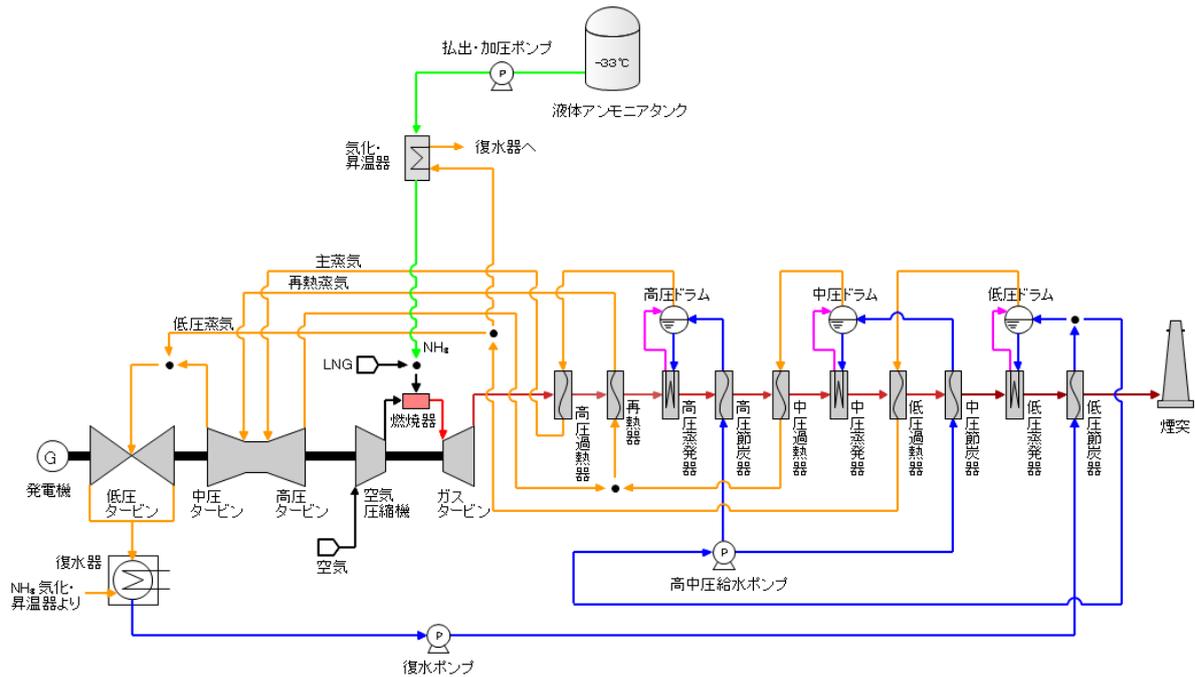


図 3-2-2. GTCC のアンモニア混焼システムの一例

3-2-3. EnergyWin による熱サイクル解析

(1) コンバインドサイクル発電システムの熱サイクル解析モデルの作成

熱効率解析モデルを作成の前提条件として、対象システムは、1500℃級のガスタービンと三重圧の蒸気タービンおよび排熱回収ボイラを備えた実機を参考とした GTCC とする。出力規模は 500MW 級とし、アンモニア燃料を混焼する場合は、図 3-2-2 に示すように蒸気系からの抽気によって液体アンモニアを気化・昇温させた後に LNG に混合するものとする。

a. ガスタービン (GT) 周りのモデル

GT 周りの設定項目と設定値は次のとおりとする。

- ・ 大気条件：15℃、0.101325MPa(相対湿度 60%)
- ・ 断熱効率：圧縮機 88%、タービン 92%
- ・ タービン入口温度：1500℃

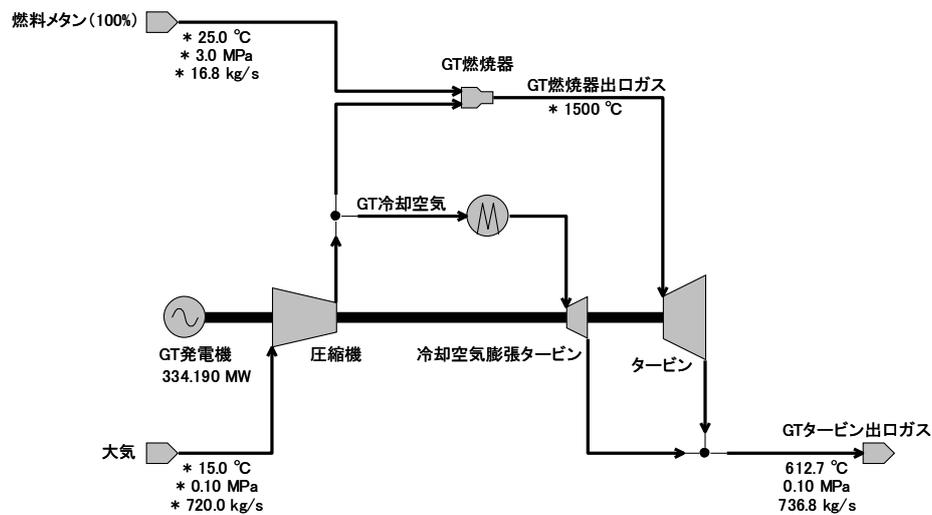
GT 周りの熱効率解析モデルは、図 3-2-3 に示す。

実機では、圧縮機より翼・ロータ冷却用空気を抽気して冷却に用いているため、このモデルでは、GT 冷却空気は燃焼ガスとは別に膨張させる構成とし、主タービンおよび冷却空気の膨張を模擬したタービンの断熱効率は一定とした。冷却空気については、その一部は冷却して使用されるため冷却器を設置し、その熱は後述のように給水加熱に用いることとした。

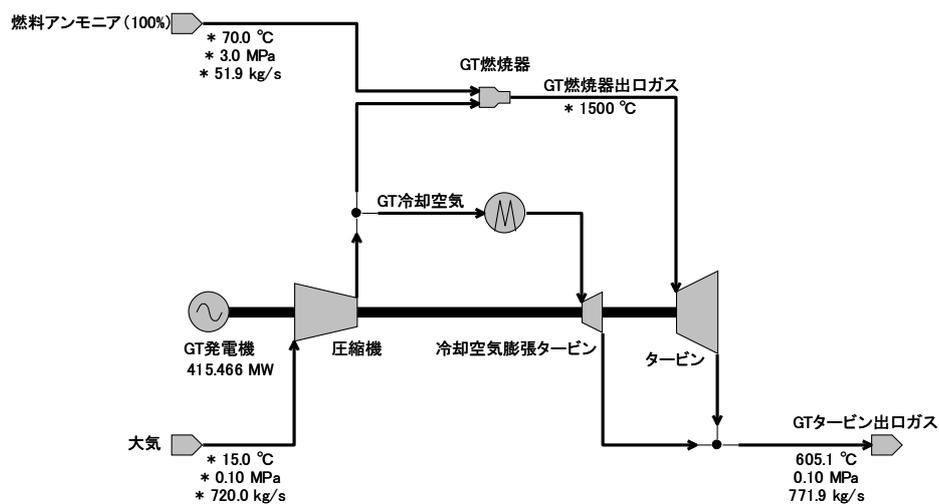
また、実機の多くでは燃料の予熱が行なわれているが、本モデルでは燃料予熱を行なわないものとした。

図 3-2-3 (a) メタン 100%と (b) アンモニア 100%では、GT 発電機出力が大きく違っている。これは、前述のようにアンモニア燃焼による燃焼ガス温度はメタン燃焼に比べて低くなるので、GT 燃焼器出口ガス温度（タービン入口温度）を一定とするためにアンモニア燃焼時は投入熱量を増加させているためである。また、燃料投入量の増加によってタービン作動ガスの体積流量が大きくなることから圧力比が上昇し、タービン出口温度は低下する。

なお、メタンとアンモニアの発熱量 (LHV) は、メタン 50.02 MJ/kg、アンモニア 18.69 MJ/kg である。



(a) メタン 100%時



(b) アンモニア 100%時

図 3-2-3. ガスタービン周りの熱効率解析モデル

b. 蒸気タービン (ST) 周りのモデル

蒸気タービン周りの蒸気条件等は、次のとおりとする。

- ・ 主蒸気温度／圧力=558°C／12MPa (メタン 100%時)
- ・ 再熱蒸気温度／圧力=558°C／3.2MPa (メタン 100%時)
- ・ ドラム圧力 (高圧／中圧／低圧)：13MPa／3.6MPa／0.5MPa (メタン 100%時)
- ・ 復水器真空度：722mmHg

グラウンド蒸気等の系統については次の値を設定するものとし、高圧タービン (HPT) および中圧タービン (IPT) の軸端からのグラウンド蒸気はグラウンド蒸気復水器 (GC) で給水を加熱した後、80°Cのドレンとなって復水器に戻される構成とする。

- ・ 高圧タービン (HPT) 出口側軸端流量：主蒸気流量×0.25%
- ・ 中圧タービン (IPT) 出口側軸端流量：再熱蒸気流量×0.20%
- ・ 高圧タービン入口側から中圧タービン入口側への内部リーク流量：
主蒸気流量×4.00%
- ・ 低圧タービンのシール蒸気および復水器の補給水流量：0 kg/s

また、各タービンの断熱効率および発電機効率は次の値とする。

- ・ 断熱効率 (高圧／中圧／低圧)：80%/90%/88%
- ・ 発電機効率：98.5% (機械損失を含む)

以上の設定で作成した ST 周りのモデルは、図 3-2-4 に示す。

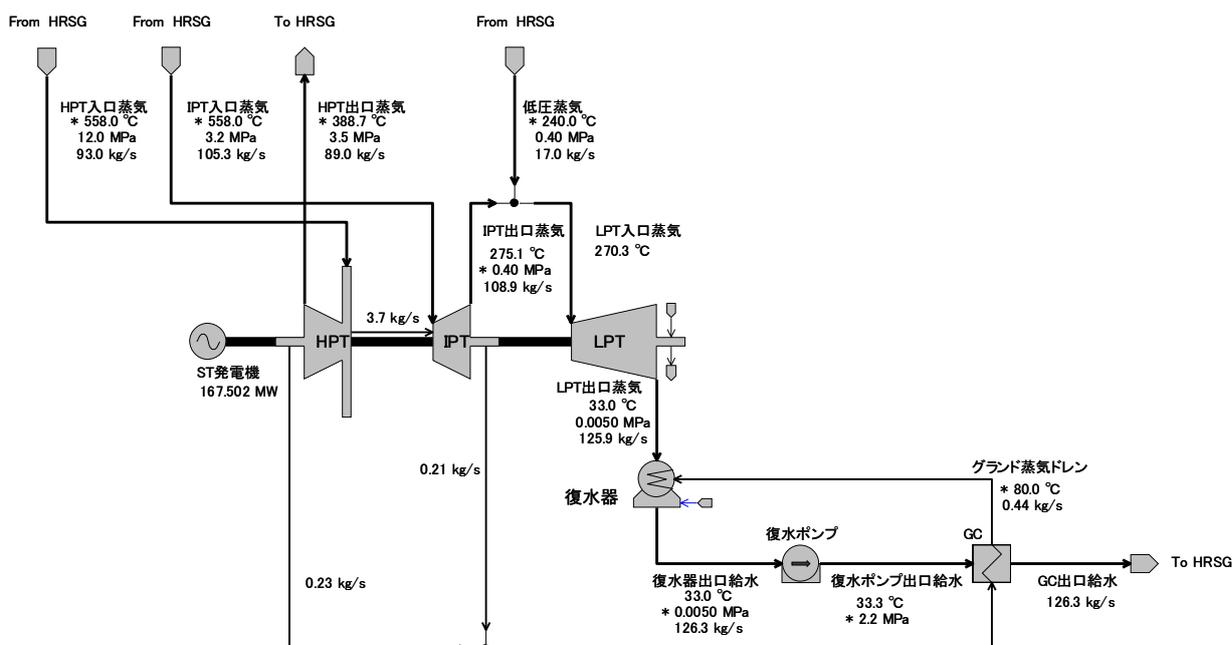


図 3-2-4. 蒸気タービン周りの熱効率解析モデル

c. 排熱回収ボイラ(HRSG)周りのモデル

HRSG 周りの熱効率解析モデルの構成については、実機を参考に次のとおりとした。

- ・ 伝熱面配置について、過熱器の一部 (SH-2) と再熱器の一部 (RH-2)、および高圧節炭器の一部 (HP-ECO1) と中圧節炭器 (IP-ECO) は並列配置とする。
- ・ 給水再循環ライン、スプレイ水ラインは考慮しない。
- ・ GT 冷却空気の冷却熱は HP-ECO1 後の TCA (ガスタービン冷却空気) クーラにより高圧給水に回収する。

また、各部の温度および圧力は次のように設定する。

- ・ ドラム圧力 (高圧/中圧/低圧) : 12MPa/3.5MPa/0.5MPa (メタン 100%時)

以上の条件で作成した熱サイクル解析モデルを図 3-2-5 に示す。これによると、メタン 100%の場合、発電端出力は 501.7MW、発電端効率(LHV 基準)は 59.7%となる。

d. アンモニア燃料の混焼モデル

アンモニア燃料の混焼モデルは、前述した GTCC 解析モデル（図 3-2-5）の拡張モデルとなり、アンモニア燃料へ対応するために次の 2 点を追加した。

① 燃料混合ライン

燃料混合ラインは図 3-2-6 の赤○部であり、GT 燃焼器供給前にアンモニアとメタンの燃料を混合するものとする。なお、液体アンモニアは気化させてから混合するので、気体アンモニア燃料に関しては混合後の温度等は解析モデル内で計算されるが、次の項目については別途計算・確認する必要がある。

- ・ アンモニア燃料流量とメタン流量
- ・ 液体アンモニアの気化に必要な熱量
- ・ 気化後の燃料の条件（温度、圧力）
- ・ 燃料混合後にアンモニアが再液化しないかの確認

② 液体アンモニアの気化・昇温に用いる蒸気の抽気ライン

液体アンモニアの気化に用いる蒸気系からの抽気については、GTCC の場合は排熱回収ボイラからの低圧系の蒸気となる。

気化に用いる熱量の大部分は蒸気の潜熱分なので、熱効率面からは蒸発器出口蒸気を利用することが望ましいが、HRSG 内の各伝熱面の収熱バランスが変化してしまうことなどを考慮し、ここでは低圧過熱器 (LP-SH) 出口の蒸気を用いることとした（図 3-2-6、青○部）。

(2) アンモニア混焼時の熱バランス

図 3-2-6 のアンモニア混焼 GTCC 解析モデルによるメタン 100%時の熱バランスは、図 3-2-7 に示すとおりである。

一方、アンモニア 100%時の熱バランスは、図 3-2-3 に示す GT 燃焼器出口ガス温度一定の条件で解析した際のメタンおよびアンモニアの 100%時の各流量をもとに、既設 GTCC の熱バランス図を参考にして、検討した。これを図 3-2-8 に示す。

ここでのアンモニア燃料の流量は図 3-2-3 で用いた 51.94 kg/s とし、発電端出力は 595.6 MW となる。

なお、ここではアンモニア気化・昇温用の熱は考慮していない。

アンモニア混焼時の熱バランスについては、メタン 100%時 (図 3-2-7) とアンモニア 100%時 (図 3-2-8) の熱バランスをもとに、混焼率毎に燃料流量、圧縮機出口圧力、ドラム圧力等を算出し、EnergyWin に入力して解析した。

a. アンモニア混焼時の燃料投入量

アンモニア混焼混焼時のメタンとアンモニアの流量については、図 3-2-3 のメタン 100%時のメタン流量とアンモニア 100%時のアンモニア流量から求めた。

アンモニアの混焼率とメタンおよびアンモニアの流量および熱量の関係は表 3-2-1 に示すが、混焼率の上昇に伴い投入熱量も増加する。これは前述のとおりである。

表 3-2-1. アンモニアの混焼率と各燃料の流量および熱量

アンモニア 混焼率(%)	流量(kg/s)			熱量(MJ/s, LHV)		
	メタン	アンモニア	計	メタン	アンモニア	計
0	16.79	0.00	16.79	839.76	0.00	839.76
20	13.80	9.23	23.04	690.47	172.62	863.09
40	10.65	18.99	29.64	532.65	355.10	887.74
50	9.00	24.09	33.09	450.30	450.30	900.61
60	7.31	29.33	36.64	365.54	548.31	913.85
80	3.76	40.29	44.06	188.31	753.23	941.53
100	0.00	51.94	51.94	0.00	970.95	970.95

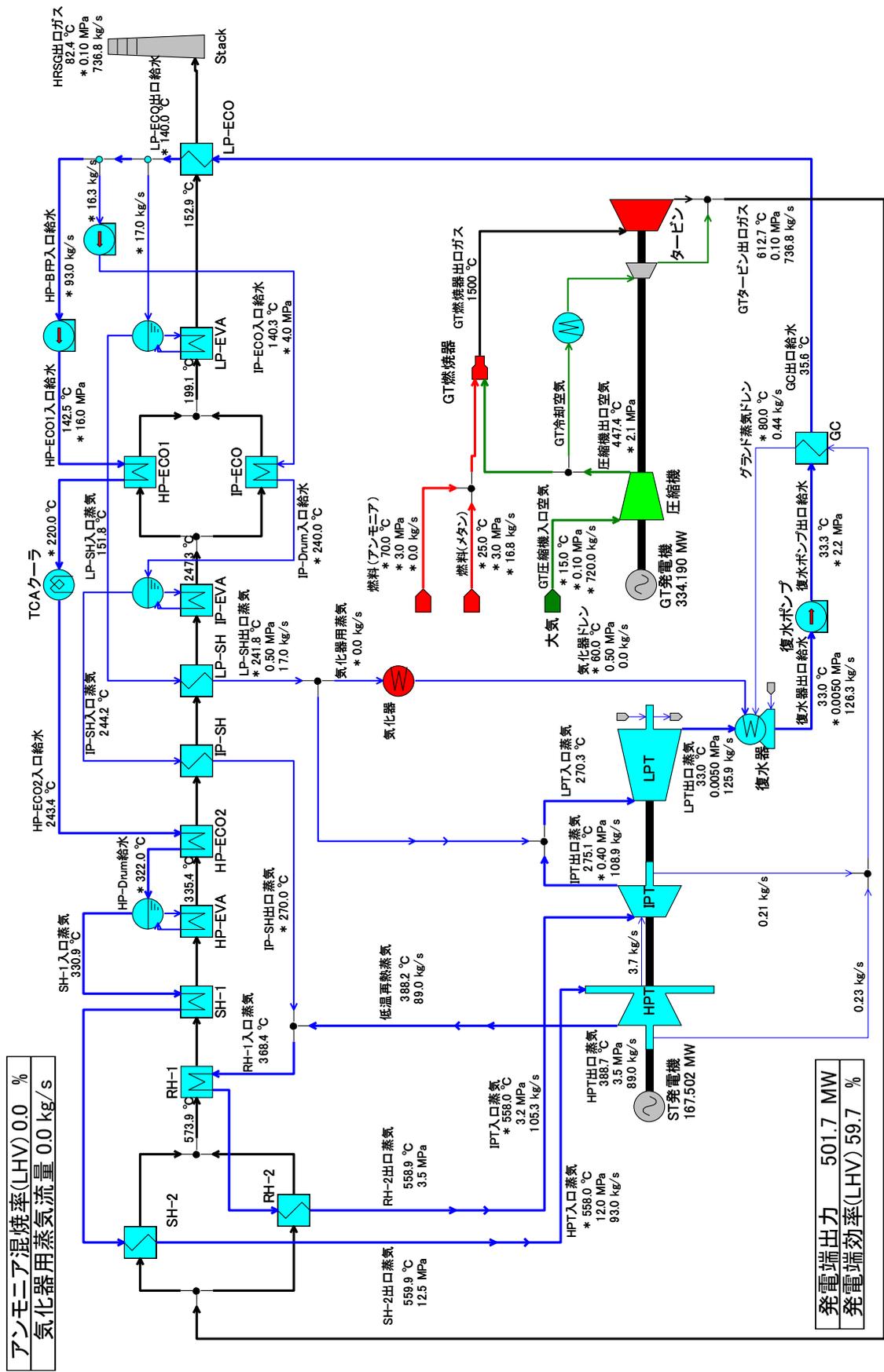
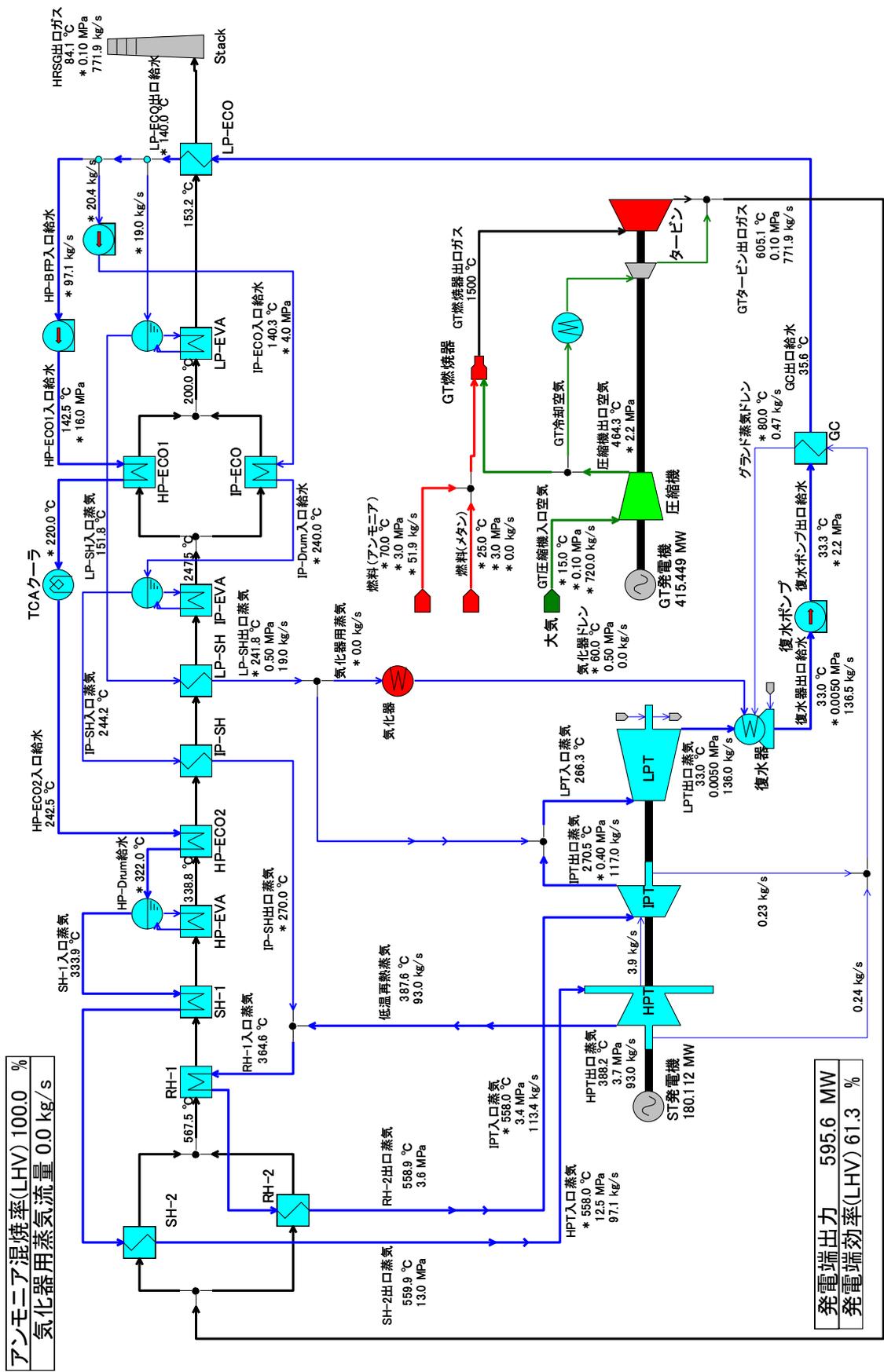


図 3-2-7. メタン 100%時の GTCC 熱バランス



アンモニア湿焼率(LHV) 1000 %
 酸化器用蒸気流量 0.0 kg/s

発電端出力 595.6 MW
 発電端効率(LHV) 61.3 %

図 3-2-8. アンモニア 100%時の GTCC 熱バランス

b. アンモニア燃料投入条件

解析モデル（図 3-2-6）においては、アンモニアは常圧、 -33.4°C で貯蔵した液体を気化した後にメタンと混合して燃焼器に供給するので、混合直前のアンモニア状態はメタンと同圧力でかつ液化しない温度であることが必要である。

図 3-2-6 でメタンの供給圧力は 3MPa であることから、アンモニアの圧力が 3MPa のときの飽和温度は約 65.8°C 程度（冷媒熱物性データベース REFPROP により計算）であるため、本検討ではアンモニアガスの供給状態を 3MPa、 70°C とする。

また、昇圧に関して、常圧で気化してから圧縮すると圧縮動力が大きくなるので、ここでは常圧液体アンモニア（ 0.101325MPa 、 -33.4°C ）を昇圧ポンプにより液体状態で 3MPa まで昇圧した後に気化・昇温させるものとする。

このときのアンモニアの状態量は、表 3-2-2 に示すとおりとなる。

表 3-2-2. アンモニアの状態量

	アンモニア	温度($^{\circ}\text{C}$)	圧力(MPa)	状態	エンタルピ(kJ/kg)
①	常温液体	-33.4	0.101325	液体	191.59
②	3MPaまで昇圧後	-32.58	3	液体	197.66
③	70°C まで加熱後	70	3	気体	1648.32

*昇圧ポンプの断熱効率：70%

表 3-2-2 より昇圧ポンプ動力および気化・昇温熱量を求めると、

$$\begin{aligned} \text{昇圧ポンプ動力} & : 6.07 [\text{kW}/(\text{kg}/\text{s}-\text{NH}_3)] \quad (\text{②} - \text{①}) \\ \text{気化・昇温熱量} & : 1450.64 [\text{kW}/(\text{kg}/\text{s}-\text{NH}_3)] \quad (\text{③} - \text{②}) \end{aligned}$$

となる。

3MPa に圧縮後の液体アンモニアを -32.58°C から 70°C に気化・昇温するために必要な蒸気量については、図 3-2-6 に示すように熱源として低压過熱器(LP-SH) 出口蒸気(241.8°C / 0.5MPa) を用いることから、気化器ドレンの温度を 70°C とすると、蒸気およびドレンの比エンタルピはそれぞれ $2944.1 \text{ kJ}/\text{kg}$ 、 $293.4 \text{ kJ}/\text{kg}$ なので、蒸気 $1 \text{ kg}/\text{s}$ あたり 2650.7 kJ の熱を利用することができる。

したがって、アンモニア $1 \text{ kg}/\text{s}$ の昇温・気化に必要な蒸気量は、

$$1450.66 \div 2650.7 = 0.547 [\text{kg}-\text{H}_2\text{O}/\text{kg}-\text{NH}_3]$$

となり、これを用いてアンモニアの気化・昇温用の蒸気流量を求める。アンモニア混焼時のメタンおよびアンモニアの投入量、アンモニア気化・昇温用の必要蒸気量、アンモニア昇圧動力を表 3-2-3 示す。

アンモニアの気化・昇温用熱源として低压過熱器 (LP-SH) 出口蒸気を用いているの

で、この蒸気の供給可能量がアンモニア混焼率の上限となる。一方、アンモニアの昇圧動力については発電出力に対して僅かである。

表 3-2-3. アンモニア混焼時の各燃料投入量、必要蒸気量およびアンモニア昇圧動力

アンモニア混焼率 (%)	メタン (kg/s)	アンモニア (kg/s)	必要蒸気量 (kg/s)	アンモニア昇圧動力 (kW)
0	16.79	0.00	0.00	0.0
20	13.80	9.23	5.06	56.0
40	10.65	18.99	10.41	115.3
60	7.31	29.33	16.07	178.0
80	3.46	40.29	22.07	244.2
100	0.00	51.93	28.46	315.2

(3) 熱効率解析結果

a. アンモニア気化・昇温用の抽気を考慮する場合

アンモニアが常圧、-33.4℃の液体で供給される場合について、図 3-2-6 の GTCC 解析モデルを用いてアンモニア混焼時の熱サイクルに及ぼす影響を検討した。

アンモニア混焼率による出力、熱効率、排ガス量、CO₂ 排出量への影響を表 3-2-4 および図 3-2-9～図 3-2-11 に、EnergyWin による解析結果を図 3-2-12～図 3-2-16 に示す。なお、本解析モデルでの混焼率の最大は、低压過熱器 (LP-SH) 出口の蒸気量とアンモニア気化・昇温用蒸気量が一致する約 67.5%となる。

表 3-2-1 および表 3-2-4 より、アンモニア混焼率の上昇に伴い投入熱量が増加するため、発電端出力は増加する。この時、GT 出力は増加するが、ST 出力はアンモニア気化・昇温用蒸気の抽気により若干減少する。混焼率 67.5%では発電端出力は約+10% (GT 出力：約+15%、ST 出力：約-2%) となっている。

発電端効率 (LHV) は、僅かに下がる程度であり、ほぼ変わらないことがわかる。また、排ガス量は混焼率 67.5%で約+6.8%であり、CO₂ は混焼率分だけ減少する。

表 3-2-4. アンモニア混焼率による影響 (蒸気抽気あり)

アンモニア混焼率	GT 出力 (a)	ST 出力 (b)	発電端出力 (a+b)	発電端効率 (LHV)	排ガス量	CO ₂ 排出量
%	MW	MW	MW	%	mol/s	g/kWh
0	334.2	167.5	501.7	59.74	25,999	333
20	348.5	166.7	515.1	59.69	26,490	267
40	363.7	165.8	529.4	59.64	27,010	201
60	379.8	164.8	544.6	59.60	27,560	135
67.5	386.2	164.5	550.6	59.59	27,776	110

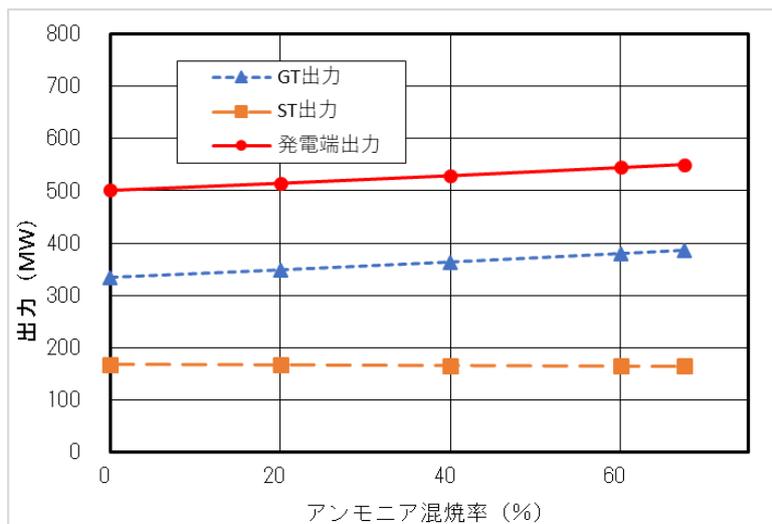


図 3-2-9. アンモニア混焼による GT、ST、発電端出力 (蒸気抽気あり)

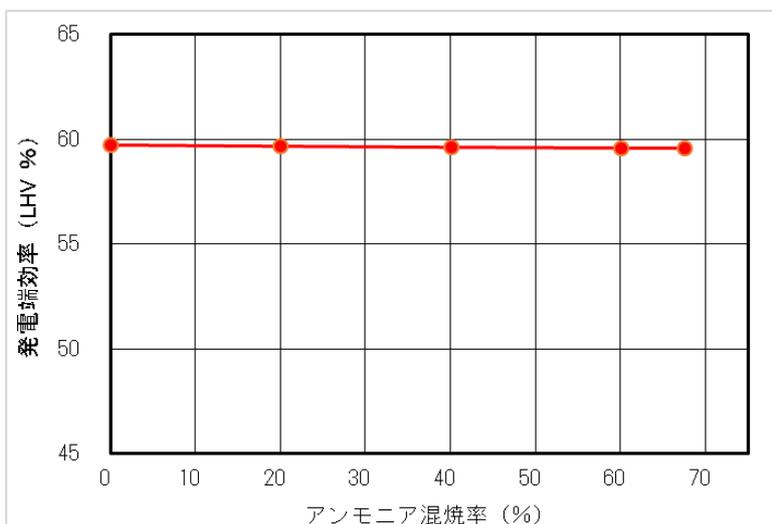


図 3-2-10. アンモニア混焼による発電端効率 (蒸気抽気あり)

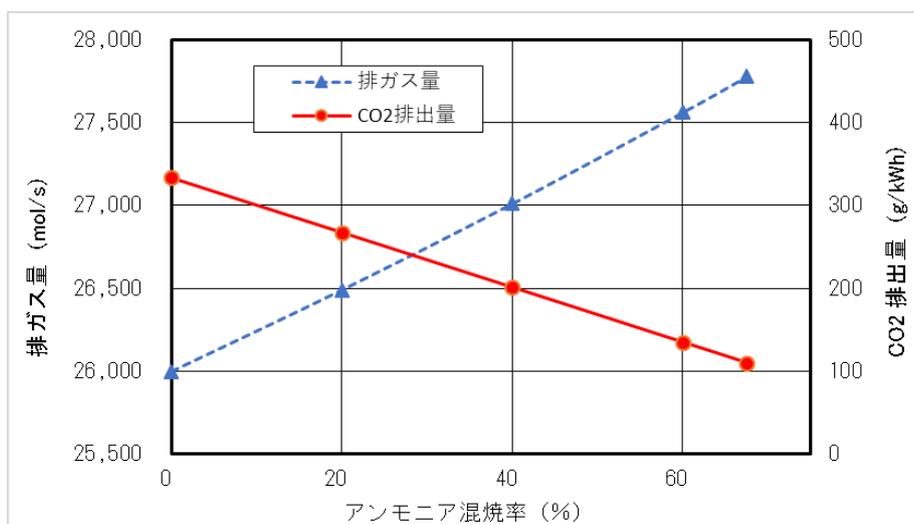


図 3-2-11 アンモニア混焼による排ガス量および CO₂ 排出量 (蒸気抽気あり)

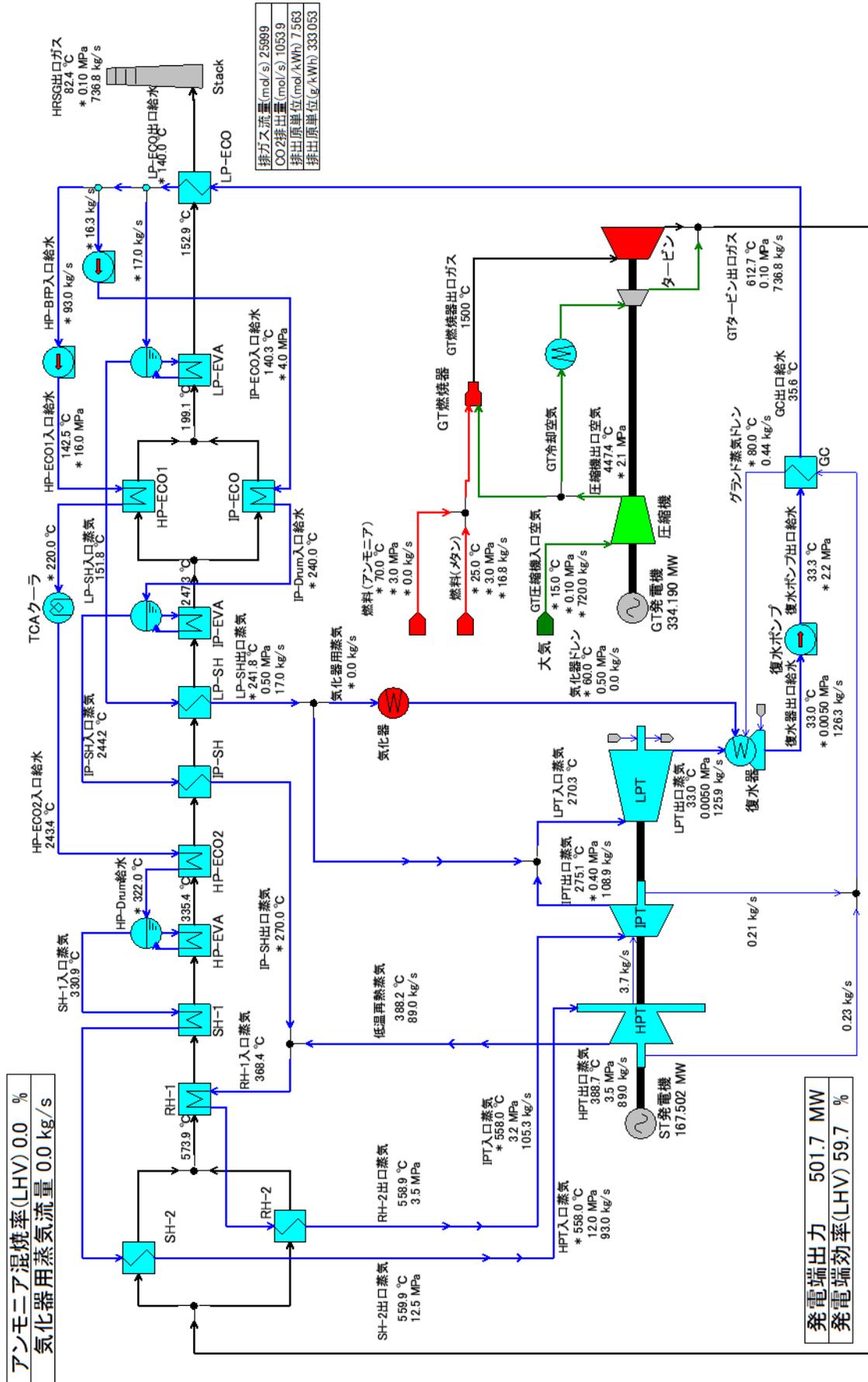


図 3-2-12. アンモニア混焼率0% (メタン専焼) 時の GTCC 熱バランス (図 3-2-7 再掲)

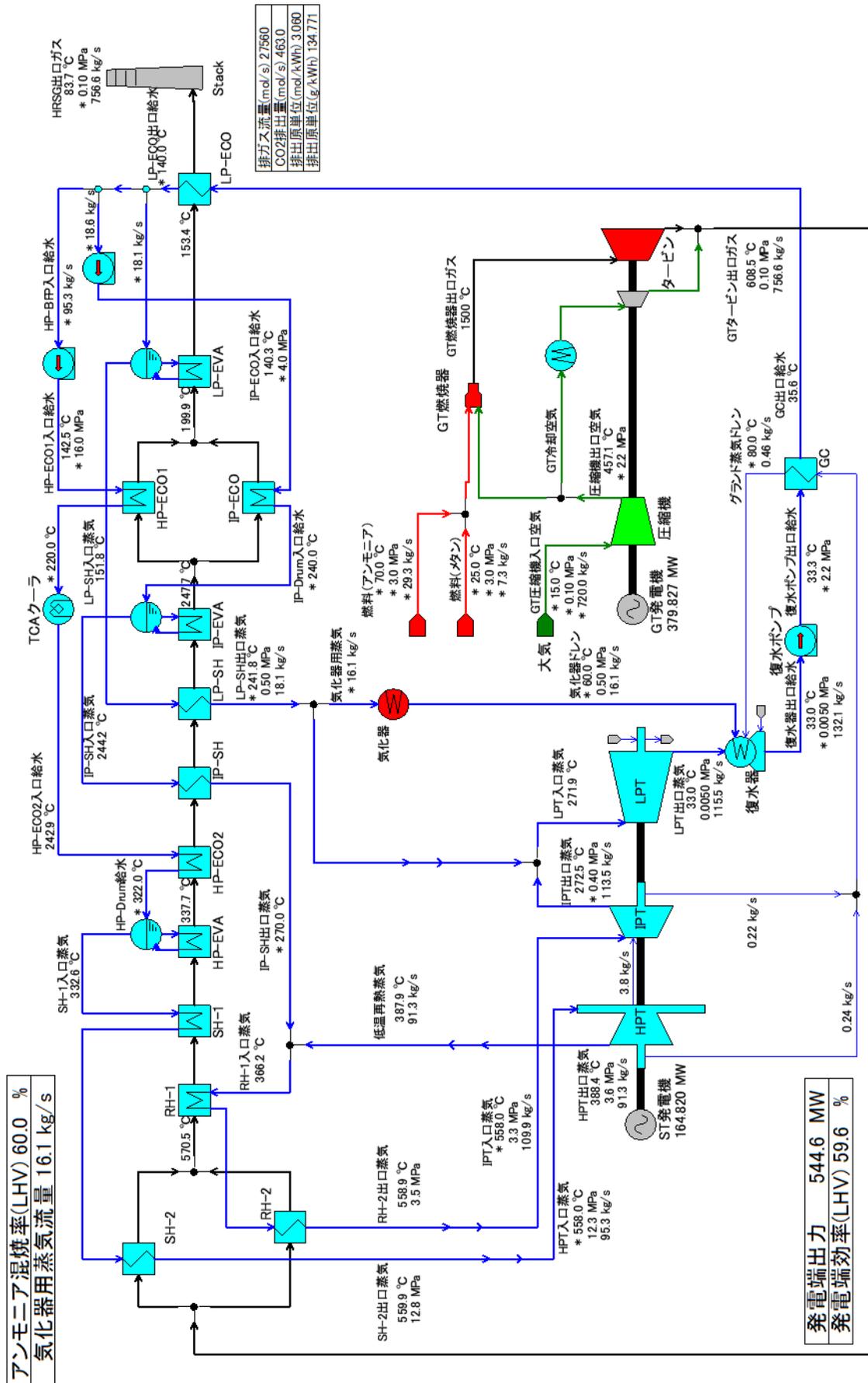


図 3-2-15. アンモニア混焼率 60%時の GTCC 熱バランス

b. アンモニア気化・昇温用の抽気を考慮しない場合

アンモニアが 70°C/3MPa の気体として供給されるものとし、アンモニアの気化に必要な熱量を考慮しない場合について、出力、熱効率、排ガス量、CO₂ 排出量への影響を表 3-2-5 および図 3-2-17～図 3-2-19 に示す。

表 3-2-5、図 3-2-17 においてアンモニア混焼率の増加に伴う出力増加の内訳をみると、GT 出力の増加に対して ST 出力の増加が小さいことが分かる。アンモニア混焼率を 0% から 100% にすると、発電端出力は 1.18 倍（GT 出力：1.24 倍、ST 出力：1.08 倍）となる。

また、図 3-2-18 よりアンモニア混焼率が高いほど LHV 基準の発電端効率は上昇する。この効率向上は燃料の持ち込む顕熱が増加するためと考えられる。

表 3-2-5. アンモニア混焼率による影響（蒸気抽気なし）

アンモニア混焼率	GT 出力 (a)	ST 出力 (b)	発電端出力 (a+b)	発電端効率 (LHV)	排ガス量	CO ₂ 排出量
%	MW	MW	MW	%	mol/s	g/kWh
0	334.2	167.5	501.7	59.74	25,999	333
20	348.5	166.7	515.1	59.69	26,490	267
40	363.7	165.8	529.4	59.64	27,010	201
60	379.8	164.8	544.6	59.60	27,560	135
80	397.1	177.3	574.3	61.00	28,144	67
100	415.4	180.1	595.6	61.34	28,764	0

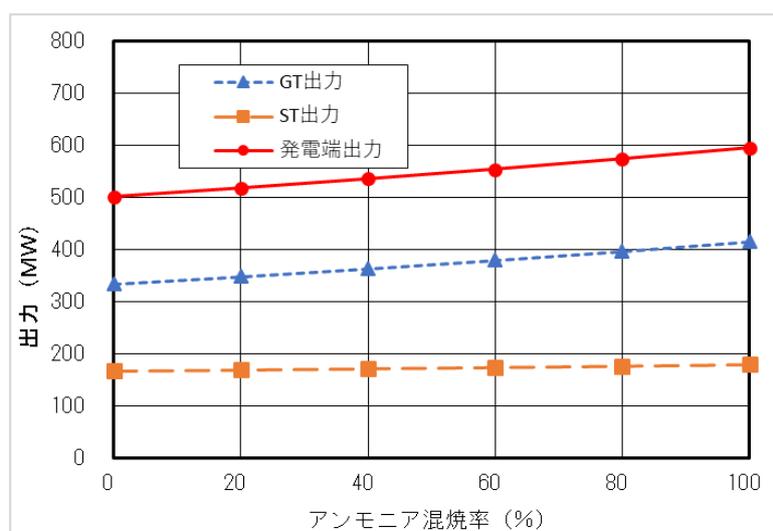


図 3-2-17. アンモニア混焼による GT、ST、発電端出力（蒸気抽気なし）

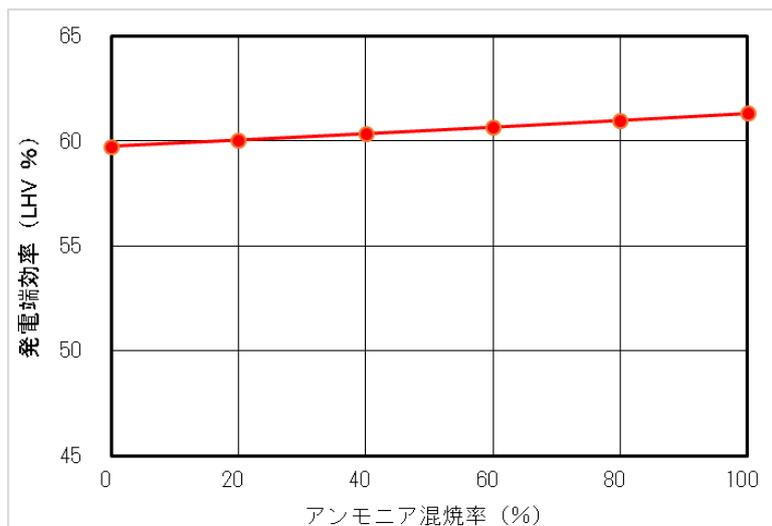


図 3-2-18. アンモニア混焼による発電端効率 (蒸気抽気なし)

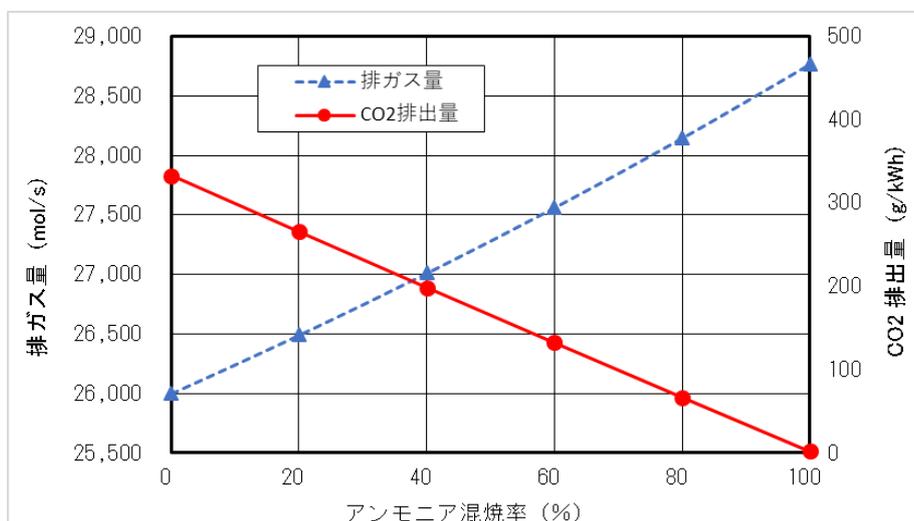


図 3-2-19. アンモニア混焼による排ガス量および CO₂ 排出量 (蒸気抽気なし)

3-2-4. 熱バランス解析の考察・まとめ

(1) アンモニア混焼が熱効率および発電出力に与える影響について

- a. アンモニア混焼による LHV 基準の熱効率の変化は非常に小さいが、発電出力は大幅に増加する。燃焼ガスの潜熱分を利用しない熱機関では燃料性状が変化しても LHV 基準の熱効率はあまり変化しないものであり、本結果もその通りとなっている。出力が増加するのはアンモニアがメタンに比べて低カロリーであり、燃焼温度を維持するためにより多くの燃料を必要とするからである。
- b. GT ではタービン出力の約半分が圧縮機動力として消費され残りが発電出力となるが、アンモニアを混焼した場合、吸気流量がほぼ一定であるのに対しタービン側では作動ガス流量が増加するため、GT としての出力は大幅に増加する。
- c. アンモニアの混焼により GT 排ガスの熱量が増加するが、HRSG 熱負荷の増加によって排ガス温度が上昇する影響もあり、アンモニアの気化・昇温に蒸気系からの抽気

がない場合でも ST 出力は GT 出力ほど増加しない。抽気を用いる場合では、ST 出力はほぼ一定か僅かに低下する。

(2) アンモニア混焼において考慮すべき事項

- a. アンモニアを混焼すると発電端出力および GT 排ガスの体積流量が増加する。このため、発電機等の容量の制限や、HRSG 等のドラフトの制限によって混焼率の上限が決まる可能性がある。例えば、既設発電機器は+5%の過負荷を許容しており、発電機の容量を定格発電出力+5%とすると、アンモニア混焼率の上限は約 35%程度となる。
- b. GT の IGV 開度の調整によってアンモニア混焼時の出力増加を抑制可能であるが、この場合、プラントとしては部分負荷運転となるため、熱効率が低下すると考えられる。
- c. 本解析では、NO_x 等の微量成分は考慮していないが、アンモニアを混焼すると Fuel NO_x の生成が不可避であり、脱硝も含めたトータルシステムの評価が必要である。
- d. アンモニアの気化に HRSG 出口排ガスの顕熱など未利用熱を用いることができれば、アンモニア混焼によって LHV 基準の熱効率を高めることが可能である。

3-3. まとめ

(1) 火力発電設備等におけるアンモニアの燃料利用に関わる法令調査

火力発電設備等においてアンモニアを燃料として利用する際の法令上の課題、留意点、問題点などを調査・把握すると共に、既存燃料である LNG、C 重油との相違点などの比較を行った。

調査の結果、アンモニアを火力発電設備等で燃料として利用する際は、法規制上の大きな問題点はないことがわかった。

(2) アンモニア発電利用技術の内燃火力発電機器への適用検討

LNG ガスタービンコンバインドサイクル発電設備 (GTCC) においてアンモニア混焼した際の熱サイクルに与える影響について、発電システム熱効率解析汎用プログラム EnergyWin を用いて検討した。

アンモニア混焼においては投入熱量が増えることにより排ガス量が増え、アンモニア気化・昇温用蒸気を抽気する場合でも発電出力は増加し、LHV 基準の発電効率はほぼ変わらないことがわかった。

3-4. 今後の課題

アンモニアを燃料として火力発電設備において利用する際の法令上の課題・問題点はない。一方、既設 GTCC におけるアンモニア燃料の混焼については、解析上は主設備を大きく改造することなくアンモニア燃料を混焼させるとは可能であると考えられるが、実運用する際は燃料供給・燃焼設備などの検討、排ガス量増加に対する検討などが必要である。また、Fuel NO_x 増加等も予想され、環境に関する検討も必要である。

4. 外部発表実績

(1) 論文発表

なし

(2) 学会、展示会等発表

なし

(3) プレス発表

なし

(4) マスメディア等取材による公表

なし

5. 特許出願実績

なし

6. 参考文献

- ・ 電気事業法
- ・ 高圧ガス保安法
- ・ 消防法
- ・ 労働安全衛生法
- ・ 毒物及び劇物取締法
- ・ 港則法
- ・ 港湾法
- ・ 船舶安全法
- ・ 石油コンビナート等災害防止法
- ・ 道路法
- ・ 悪臭防止法
- ・ 大気汚染防止法
- ・ 水質汚濁防止法
- ・ 環境影響評価法
- ・ 廃棄物の処理及び清掃に関する法律
- ・ 騒音規制法

- ・ 振動規制法
- ・ 海上交通安全法
- ・ 海洋汚染等及び海上災害に関する法律
- ・ 道路運送車両法
- ・ ガス事業法
- ・ 建築基準法
- ・ 航空法
- ・ 下水道法
- ・ 地球温暖化対策の推進に関する法律
- ・ 船員法
- ・ 労働基準法